



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Trabajo final de Máster

Morfometría de actividades extractivas a
partir de imágenes de satélite de alta
resolución espacial

Autor: Sergio Martínez Pardo

Máster Universitario en Ingeniería de Minas

Tutor: Juan Jorge Sánchez

EPSEM, Octubre 2016

Summary

Control and study of the Earth's surface with images captured by satellites has been doing for many years.

The high spatial resolution of new satellites, with the low cost image acquisition, makes that small mining companies can carry out controls on their farms.

This work aims to study the different covers that are in the extractive activities of a particular area using different methods of sorting through ENVI software

Resumen

El control y estudio de la superficie terrestre se lleva realizando desde hace ya muchos años con imágenes captadas por satélites artificiales.

La alta resolución espacial de nuevos satélites, conjuntamente con el bajo coste en la adquisición de imágenes, abre las puertas a este tipo de tecnología a pequeñas empresas mineras para poder realizar controles sobre sus explotaciones.

Durante la realización de este trabajo se pretende hacer el estudio de las diferentes cubiertas que encontramos en las actividades extractivas de una zona en concreto mediante diferentes métodos de clasificación a través del software ENVI.

Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 9 |
| 1.1. Teledetección | 9 |
| 1.1.1. Resolución radiométrica | 9 |
| 1.1.2. Resolución temporal | 10 |
| 1.1.3. Resolución espacial | 10 |
| 1.1.4. Resolución espectral | 10 |
| 1.1.5. Reflectancia espectral del terreno | 11 |
| 1.2. Antecedentes | 11 |
| 1.3. ¿Cuál es el futuro?..... | 12 |
| 1.4. Impactos que genera la minería..... | 13 |
| 1.5. Solución de los principales problemas de la minería mediante la teledetección..... | 14 |
| 1.5.1. Ejemplos de exploración minera..... | 15 |
| 1.5.2. Ejemplos de trabajos medio ambientales en minería | 15 |
| 1.5.3. Ejemplos de trabajos realizados en otros campos aplicables a la minería | 16 |
| 2. Objetivos | 17 |
| 3. Área de estudio | 18 |
| 4. Materiales y métodos | 20 |
| 4.1. Materiales..... | 20 |
| 4.1.1. Deimos-2 | 20 |
| 4.1.2. ENVI | 25 |
| 5. Metodología de trabajo | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1. | Clasificación no supervisada..... | 31 |
| 5.2. | Clasificación supervisada..... | 32 |
| 5.3. | Clasificación “Unmixing” | 34 |
| 5.4. | NDVI (Índice de Vegetación) | 36 |
| 6. | Resultados obtenidos y análisis de los mismos | 37 |
| 6.1. | Clasificación no supervisada | 37 |
| 6.2. | Clasificación supervisada..... | 39 |
| 6.3. | Clasificación “Unmixing” | 42 |
| 6.4. | NDVI (Índice de Vegetación) | 44 |
| 7. | Conclusiones | 46 |
| 8. | Agradecimientos | 48 |
| 9. | Referencias bibliográficas | 49 |
| 10. | Anexos | 51 |
| 10.1. | Cubierta de Sal 1 | 51 |
| 10.2. | Cubierta de Sal 2 | 52 |
| 10.3. | Cubierta de carreteras y caminos | 53 |
| 10.4. | Cubierta de Vegetación | 54 |
| 10.5. | Cubierta de Edificios..... | 55 |
| 10.6. | Cubierta de Actividades Extractivas | 56 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Bandas multiespectrales (GIS Geography, 2016) | 11 |
| Figura 2. Bandas hiperespectrales (GIS Geography, 2016)..... | 11 |
| Figura 3. Imagen de la ubicación de las 4 imágenes. Área de estudio (Google Earth, 2012) | 18 |
| Figura 4. Imagen de la zona de estudio (Google Earth, 2012) | 18 |
| Figura 5. Vista externa y sección del satélite DEIMOS-2 (Deimos-Imaging, 2015). | 20 |
| Figura 6. Esquema captura de datos “Multi-pointing imaging” (Deimos-imaging, 2015). | 24 |
| Figura 7. Esquema captura de datos “Single pass stereo imaging” (Deimos-imaging, 2015)..... | 24 |
| Figura 8. Esquema del procedimiento del trabajo. | 28 |
| Figura 9. Máscara de la zona a estudiar (de color blanco las actividades extractivas de la zona) | 29 |
| Figura 10. Imagen enmascarada de la zona a estudiar. | 30 |
| Figura 11. Metodología de la clasificación no supervisada. | 31 |
| Figura 12. Metodología clasificación supervisada. | 33 |
| Figura 13. Print-screen del ROI's que generamos con ENVI. | 34 |
| Figura 14. Metodología de la clasificación Unmixing. | 35 |
| Figura 15. Clasificación no supervisada. | 38 |
| Figura 16. Zoom de la concesión minera Iberpotash S.A. en Súa. | 39 |
| Figura 17. Clasificación supervisada de la zona a estudiar. | 40 |
| Figura 18. Imagen de Google Earth 2012 vs cubiertas clasificación supervisada ICL Iberia (Súa). | 41 |
| Figura 19. Z-Profile de los píxeles correspondientes a: A) Cubierta de edificios B) Cubierta de Sal. | 42 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 20. Gráfico valor espectral de cada cubierta. | 43 |
| Figura 21. NDVI de la zona de estudio. | 44 |
| Figura 22. Zoom del NDVI de las dos montañas de sal. A) Súa B) Sallent. | 45 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Características del DEIMOS-2 (Deimos-Imaging, 2015) | 22 |
| Tabla 2. Precios imágenes DEIMOS-2 (SCS, 2016) | 25 |
| Tabla 3. Estadísticas de las diferentes cubiertas de las actividades extractivas. | 37 |
| Tabla 4. Características de la imagen supervisada | 41 |

1. Introducción

El estudio de la cubierta terrestre ha sido desde el inicio de la humanidad una importante herramienta para la evolución. La curiosidad, el querer saber o la necesidad son aspectos que nos han traído hasta aquí.

Hoy en día vivimos en un mundo globalizado donde la necesidad de saber que hay en la otra parte del mundo nos lleva a tener que recurrir a herramientas como es la teledetección.

Gracias a la teledetección hoy en día podemos estudiar y observar cualquier parte del mundo sin necesidad de desplazarnos al lugar de interés.

En este trabajo utilizaremos imágenes de alta resolución espacial para estudiar los perímetros y el interior de actividades mineras a cielo abierto. Las imágenes utilizadas han sido obtenidas por el satélite español Deimos-2 (SOT), propiedad de la empresa Elecnor Deimos con base en Puertollano (Ciudad Real, España), que fue puesto en órbita el 19 de junio de 2014.

Seguidamente se definirán algunos términos que nos facilitarán el entendimiento del trabajo.

1.1. Teledetección

La Teledetección es la adquisición de información sobre un objeto a distancia, es decir, sin que haya contacto físico entre el objeto o sistema observado y el observador (López, M. J., Caselles, V., 1991).

En el caso de la teledetección basada en la detección de ondas electromagnéticas procedentes de la superficie terrestre, y detectadas por un sensor a bordo de plataformas espaciales o de aeronaves, se diferencian cuatro características en la toma de datos, y en ellos mismos. Se trata de lo que se denomina **resolución de la imagen**, cuyas cuatro características principales se diferencian como la **resolución radiométrica**, la **resolución temporal**, la **resolución espacial** y la **resolución espectral**.

1.1.1. Resolución radiométrica

La resolución radiométrica indica la sensibilidad del sensor, es decir, la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta. Suele expresarse mediante el número de bits con los que se almacena la información de cada celda. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán

captarse en la imagen, y ello se traduce en un mayor número de niveles de gris que pueden llegar a aparecer en una escena (visible en el histograma de la imagen).

1.1.2. Resolución temporal

La resolución temporal indica el intervalo de tiempo entre cada imagen obtenida por la plataforma; en el caso de los satélites geoestacionarios ha llegado a los quince minutos y en el caso de los satélites heliosíncronos, comúnmente llamados de órbita polar, varía de un satélite a otro.

Con el desarrollo de los satélites de muy alta resolución espacial con sensores orientables, la resolución temporal pasa a ser algo más flexible ya que las imágenes que captan son relativamente independientes de la posición que ocupe el satélite.

1.1.3. Resolución espacial

La resolución espacial es la capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño. Dicho de otro modo, la resolución espacial suele interpretarse como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño de píxel sobre el terreno (Pérez, C. y Muñoz, A., 2006).

La resolución espacial juega un papel fundamental condicionando la escala de trabajo y la fiabilidad de la interpretación. Cuanto menor sea el tamaño del píxel, menor será la posibilidad de que éste sea un compuesto de dos cubiertas fronterizas. No obstante, en algunas ocasiones puede ser mejor contar con un tamaño de píxel más grande, ya que así se reduce la variabilidad de categorías.

1.1.4. Resolución espectral

La resolución espectral indica el número y ancho de bandas en las que el sensor puede captar la radiación electromagnética. En principio cuantas más bandas incluya un sensor, mejor, ya que cada banda constituye una variable para caracterizar la superficie captada.

Por otro lado es preferible que estas bandas sean estrechas para que su poder discriminante se incremente. Si las bandas son muy anchas van a recoger valores promedios que ocultarán elementos de diferenciación.

Las imágenes con resolución multispectral poseen de 3 a 10 bandas. Cada banda se adquiere mediante un radiómetro de teledetección y el filtro correspondiente (figura 1).

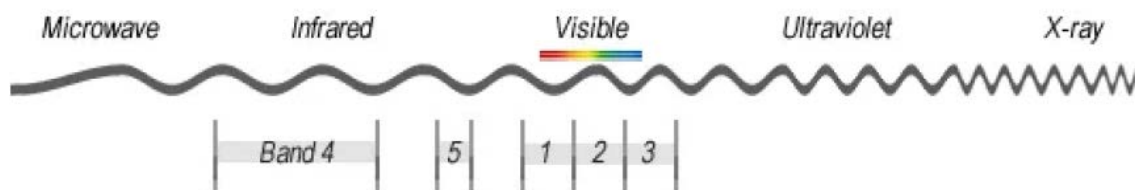


Figura 1. Bandas multiespectrales (GIS Geography, 2016)

Por otra banda las imágenes hiperespectrales, todo y que abarcan el mismo rango del espectro electromagnético, están formadas de bandas mucho más estrechas (10-20 nm) y pueden tener cientos de bandas (figura 2).

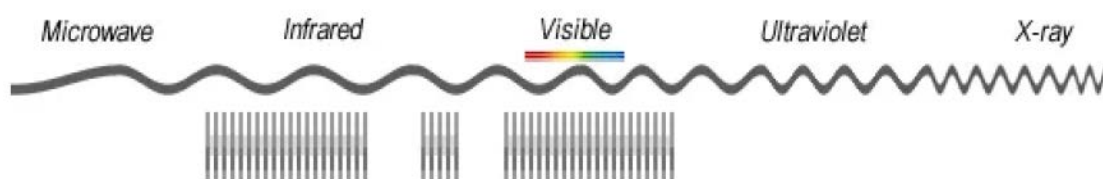


Figura 2. Bandas hiperespectrales (GIS Geography, 2016)

1.1.5. Reflectancia espectral del terreno

La energía solar que llega a la superficie Tierra atravesando la atmósfera es reflejada, transmitida o absorbida. La época del año, posición del Sol y las características del terreno son importantes para la intensidad de estos fenómenos. Cada uno de los materiales que hay en la superficie de la Tierra tiene una interacción particular con la radiación que atraviesa la atmósfera; por ello, la curva de reflectancia espectral de cada tipo de cubierta sobre la superficie terrestre (lo que se denomina su **firma espectral**) muestra una singularidad que permite distinguir unas cubiertas de otras (Jensen, J. R., 2007).

1.2. Antecedentes

Los productos de teledetección están en nuestras vidas más de lo que uno imagina; por ejemplo, cada día al ver las noticias meteorológicas estamos viendo imágenes que han sido captadas desde satélites (el Meteosat en Europa) y que son procesadas para poder predecir el tiempo.

Las aplicaciones se extienden a través de una gran variedad de disciplinas en las que la variable espacial entra en juego. Es por eso que en los últimos años hay un acercamiento a esta disciplina por parte de otros sectores como el periodismo.

Algunos ejemplos de aplicación se pueden encontrar en las comunicaciones que se presentan en las reuniones bianuales de la Asociación Española de Teledetección (<http://www.aet.org.es/>), como son:

- Estudios de erosión en playas y arenales.
- Cartografía geológica.
- Control de movimientos de iceberg
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- Análisis en tiempo real de masas nubosas.
- Medidas de aguas superficiales y humedales.
- Seguimiento del desarrollo urbano.
- Cartografía de las corrientes del mar.
- Estudios de contaminación.
- Estudios de las huellas de petróleo en el mar.
- Clasificaciones de las masas forestales.
- Estudios de la recuperación de las masas forestales después de un incendio.
- Estudios de las cubiertas de nieve.
- Seguimiento de cultivos.
- Generación de mapas de elevación.
- Estudios de exploración minera.
- Controles de taludes y perímetros mineros.
- Ámbitos militares.
- Control de fronteras.
- Planificación territorial.
- Etc.

1.3. ¿Cuál es el futuro?

Se debe diferenciar si un estudio de la superficie terrestre se necesita llevar a cabo a gran escala o a pequeña escala. A gran escala se requiere contar con la información captada por satélites, ya que nos posibilitan el estudio de una zona de gran extensión (visión sinóptica); eso sí, cada día con mejores resoluciones de imagen que permiten una mayor exactitud en los estudios que se llevan a cabo.

Los grandes avances tecnológicos están haciendo de la teledetección una herramienta muy accesible a las personas de a pie, ya que hoy en día un “dron” (UAV) es relativamente accesible desde un punto de vista comercial y económico.

Gracias a ello la teledetección a pequeña escala está generando nuevos ámbitos de estudio sobre el terreno con un coste relativamente pequeño para estudios en los que no se dispongan de grandes recursos económicos. Por otra banda, también permite obtener una información de un día y hora en concreto ya que se puede hacer volar un UAV cualquier día, siempre que las condiciones meteorológicas lo permitan.

Algunos ejemplos de la utilización de UAV se han puesto de manifiesto recientemente en estudios hechos sobre minería, como pueden ser levantamientos topográficos, estudios termográficos de edificios para poder encontrar pérdidas de calor, así como en otros campos de interés como el control de cultivos, donde por ejemplo con la firma espectral se pueden encontrar aspectos perjudiciales sobre los cultivos como posibles plagas o necesidades hídricas.

Un ejemplo de las nuevas empresas que han visto la oportunidad de negocio en estos campos, por citar una de ellas, es ZCOPTERS, que ofrecen servicios de UAV sobre el terreno, a la vez que producción de video sobre UAV (ZCOPTERS, 2016).

1.4. Impactos asociados a la minería

La minería en toda su historia ha sido vista como una industria que perjudica el medio ambiente y es rechazada por gran parte la sociedad, ya que ésta siempre suele fijarse en lo peor, lo contaminante, lo perjudicial para el medio ambiente, prescindiendo del gran beneficio que la minería le hace.

Toda actividad minera genera una serie de impactos sobre la sociedad y el medioambiente, regulados por las administraciones, los cuales son (UCM, 2016):

- **Impactos atmosféricos:** contaminación provocada por gases, emisiones sólidas, ruidos, ondas aéreas (provocadas por las voladuras).
- **Impactos sobre el terreno:** desertización (deforestación, erosión del suelo, pérdida del suelo fértil), modificación del relieve, impacto visual, peligros geotécnicos (desestabilización de laderas, alteraciones del nivel freático, subsidencias).
- **Impactos sobre el suelo:** pérdidas de propiedades físicas y químicas.
- **Impacto en los acuíferos:** alteraciones en la dinámica fluvial (variación del perfil y trazado de la corriente fluvial, aumento de la peligrosidad de inundación, incorporación de partículas sólidas en la corriente y agentes contaminantes), pérdida de masas de aguas (la minería necesita en general de grandes cantidades de agua), alteraciones en el régimen hidrogeológico, contaminación por metales pesados, aparición de drenaje ácido de mina y variaciones en el pH de las aguas.

Los países llamados del *“Primer Mundo”* tienen una legislación que controla muy bien las actividades extractivas para que cumplan con las medidas ambientales, y si no lo hacen son sancionadas severamente por la administración correspondiente; aunque se puede encontrar algún caso de accidente ambiental aún cumpliendo con las normativas, como fue el caso de Aznalcóllar.

Por otra banda, en los países llamados del *“Tercer Mundo”* o en vías de desarrollo se encuentra una legislación mucho más permisiva, y eso provoca que haya más impactos sobre los ecosistemas y la sociedad. Un claro ejemplo es la minería artesanal que se lleva a cabo en países de Sud América. Esta minería necesaria para la población que no tiene recursos para sobrevivir, provoca por lo general una gran contaminación del medio ambiente que la rodea.

En este tema de los impactos a causa de la minería, también hay que tener en cuenta, y no olvidar, las dificultades con las que se encuentran la mayoría de las empresas de actividades extractivas mineras de tamaño pequeño y medio, para obtener financiación para la compra de material.

En el siguiente punto (1.5. Solución de los principales problemas de la minería mediante la teledetección), se expondrán ejemplos de casos en los que la teledetección ha ayudado a controlar, frenar o estudiar los impactos que genera la minería en la sociedad a la vez que aportar conocimiento y ayuda a simplificar los estudios mineros que se llevan a cabo en cualquier actividad extractiva.

1.5. Solución de los principales problemas de la minería mediante la teledetección.

Durante los últimos tiempos ha habido muchos estudios que han utilizado la teledetección para dar solución a los problemas que plantea la minería, problemas como la contaminación, rotura de presas, exploración de minerales, estudios de contaminación de las aguas, entre otros.

Encontramos muchísimos ejemplos de estudios realizados a partir de la teledetección, como se ha comentado anteriormente, en las Actas de los Congresos de Teledetección que organiza la Asociación Española de Teledetección.

En claro ejemplo de monitorización aplicado en minería desde hace ya tiempo es el control en minas carboníferas de los acopios de carbón. Se utilizan cámaras térmicas para el control de la temperatura del acopio y así predecir un inminente incendio.

Donde encontramos más ejemplos del uso de la teledetección en la minería es en la fase de la exploración minera, ya que a partir de satélites con alta resolución

espectral y multiespectral se pueden conseguir las firmas espectrales del terreno, y así poder determinar el tipo de minerales que se encuentran en superficie en una zona remota sin la necesidad de acudir al campo (fase inicial del proyecto). De hecho lo que se obtiene son indicios de presencia de determinados minerales, siendo esta información una ayuda a la hora de tomar decisiones de cara a llevar a cabo los sondeos de prospección.

1.5.1. Ejemplos de exploración minera

El reconocimiento de minerales en la superficie terrestre se lleva a cabo desde hace años con imágenes captadas por satélites artificiales como LANDSAT, SPOT, EO-1, entre otros.

Aunque los sensores hiperespectrales utilizados en medios aerotransportados son ideales por su elevada resolución espacial y espectral, tienen un coste económico muy elevado si se compara con las imágenes obtenidas por medios espaciales.

Seguidamente se expone un listado de trabajos realizados sobre el uso de la teledetección como medio para la exploración minera:

- Cartografía de potencialidad de oro en Rodalquilar: uso de imágenes hiperespectrales Hyperon como fuente de información (Rodríguez, G. V. y Chica, O. M., 2015).
- Comparativa de sensores espaciales de diferente resolución espectral en la exploración minera (Lora, L., J., C., 2016).

1.5.2. Ejemplos de trabajos medio ambientales en minería

Uno de los principales impactos ambientales que provoca la minería (apartado anterior 1.4. Impactos que genera la minería) es la contaminación de acuíferos por Drenaje Ácido de Mina (DAM). Aquí algunos ejemplos del estudio de DAM en los acuíferos:

- Detección de cambios en los sedimentos de un río afectado por drenaje ácido de mina mediante imágenes hiperespectrales (río Odiel, Huelva) (Buzzi, M. J., Rianza, G. A., García, M. A., Holzwarth, S., 2013).
- Cartografía de sales marinas y fluviales en estuarios receptores de aguas ácidas con imágenes hiperespectrales Hyperon (Marismas del río Odiel, Huelva) (Rianza, A.; García, M. E.; Carrère, V.; Mueller, A., 2013)

1.5.3. Ejemplos de trabajos realizados en otros campos aplicables a la minería

Hay muchos trabajos realizados para el control de taludes, hechos para zonas montañosas o vías de comunicación, que se pueden aplicar de la misma manera para el control de taludes en minería a cielo abierto, realizados con LiDAR sobre medios aerotransportados. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Análisis del uso de datos LiDAR sobre helicóptero para control de taludes carreteros (Pérez, G., J., L. *et al.*, 2015).
- Uso de datos LiDAR aéreos en 3D para el control de movimientos de ladera. Caso de estudio del deslizamiento de Diezma (Granada) (Azañón, J. M. *et al.*, 2015).

El listado de ejemplo de trabajos donde se ha trabajado con la teledetección en el ámbito de la minería es bastante extenso. Es esencial utilizar la teledetección en minería ya que aporta un beneficio en tiempo, personal y dinero, ya que por ejemplo en los levantamientos topográficos ya no se tiene que depender de un equipo de topografía, simplemente con la ayuda de un UAV se puede realizar en poco tiempo un mapa de la topografía de la mina.

2. Objetivos

En el presente trabajo cabe diferenciar dos tipos de objetivos: objetivos generales del trabajo y objetivos de aprendizaje.

Los objetivos generales del trabajo son:

1. Analizar imágenes de satélite (en este caso del satélite Deimos-2), mediante software específico de teledetección (aquí el software es ENVI), para la obtención de perímetros mineros y la distribución interior de los usos del suelo (a través de la diferenciación de cubiertas del suelo).
2. Establecer una metodología a partir de información satelital para obtener el perímetro minero y la distribución de la ocupación del suelo en una actividad extractiva.

A nivel individual se ha establecido una serie de objetivos personales de aprendizaje a conseguir durante la realización de este trabajo:

1. Aprender a utilizar el software ENVI.
2. Aprender a establecer una metodología de seguimiento de actividades extractivas a partir de imágenes de satélite.

3. Área de estudio

La empresa Deimos Imaging ha cedido para este trabajo cuatro imágenes captadas por los sensores del satélite Deimos-2 pertenecientes al área de Cataluña, dos de ellas de la zona de Girona y las otras dos de la zona de Manresa, en la comarca del Bages, zona donde se realiza el estudio (figuras 3 y 4).

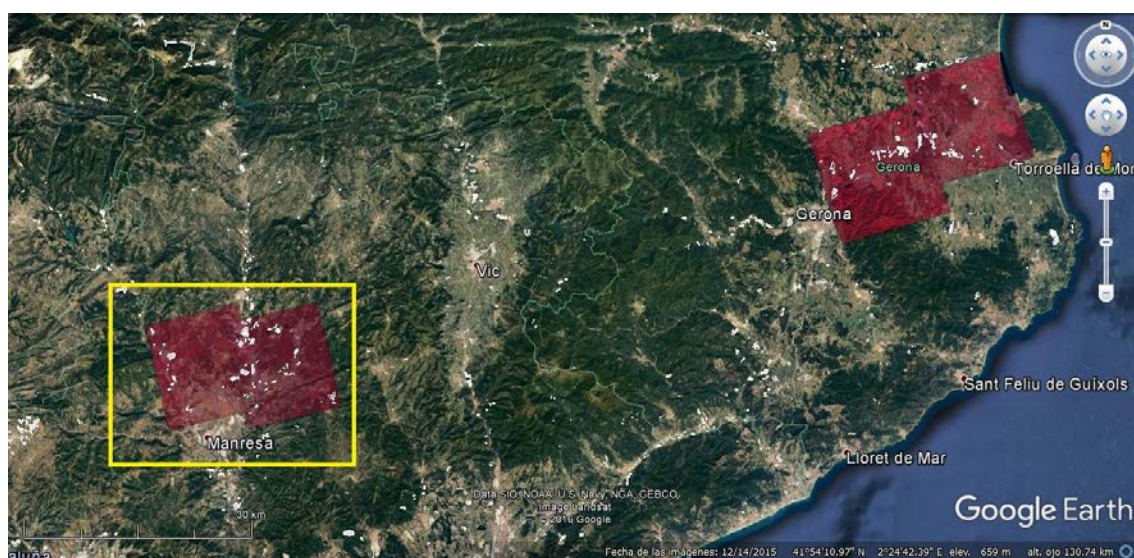


Figura 3. Imagen de la ubicación de las 4 imágenes. Área de estudio (Google Earth, 2012).

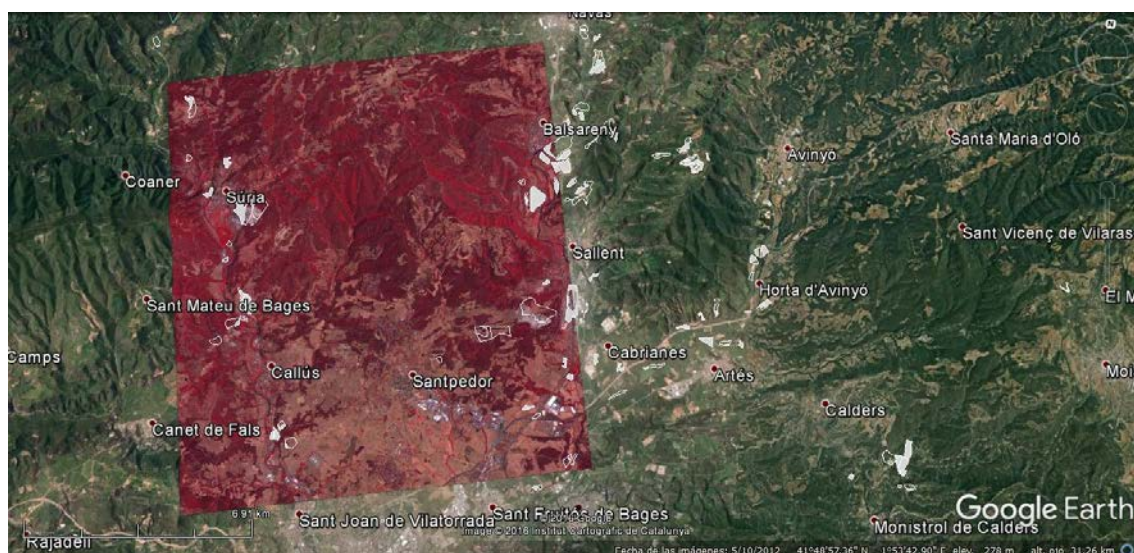


Figura 4. Imagen de la zona de estudio (Google Earth, 2012).

Se ha elegido la zona de Manresa por su proximidad para poder hacer medidas de campo, y por su gran número de explotaciones mineras donde destacan las dos que tiene la empresa ICL Iberia Súrria & Sallent, una en el municipio de Súrria (Bages) y otra en el municipio de Sallent (Bages). Concretamente las zonas de estudio incluyen estas actividades y otras actividades, zonas sombreadas de color blanco en la figura 4.

4. Materiales y métodos

4.1 Materiales

Los principales materiales utilizados para la realización de este trabajo han sido tres: el programa informático ENVI, las imágenes obtenidas con el satélite DEIMOS-2 (proporcionadas gratuitamente por la empresa Demos Imaging) y los archivos en formato “shape” de las actividades extractivas de Catalunya.

4.1.1. Deimos-2

El satélite DEIMOS-2 (figura 5), primer satélite español de muy alta resolución espacial) ha sido diseñado e integrado en el Centro de Inteligencia de Satélites propiedad de Elecnor Deimos, en la localidad de Puertollano (Ciudad Real, España). Fue lanzado el 19 de junio de 2014 a las 21:27 horas (hora peninsular española) desde Yasni (Rusia), donde un lanzador ruso-ucraniano, llamado Dnepr, lo puso en órbita en tan solo 20 minutos. Funciona y opera desde una órbita heliosíncrona a una altitud de 620 km (Elecnor DEIMOS, 2016).

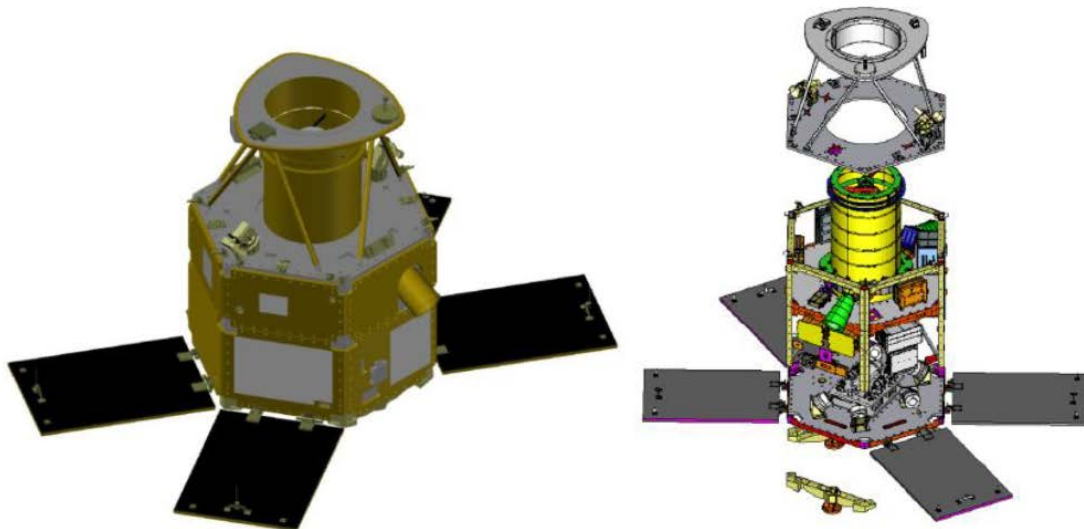


Figura 5. Vista externa y sección del satélite DEIMOS-2 (Deimos-Imaging, 2015).

Deimos-2 ha sido diseñado para proporcionar un servicio rentable, con gran capacidad de respuesta a clientes de todo el mundo. El proyecto ha costado 60 millones de euros, cifra que se prevé que aumente hasta los 100 millones de euros a la finalización de su vida útil (SINC, 2014).

Permite adquirir imágenes con una resolución de hasta 400 veces mayor que la de su antecesor el DEIMOS-1 (en órbita desde julio de 2009). Una imagen de 1 km² de terreno contiene 400 veces más información que una adquirida por su predecesor.

DEIMOS-2 permite capturar imágenes básicas de 12 km², con una resolución de 75 cm, o lo que es lo mismo, cada píxel de la imagen se corresponde con una superficie de menos de 1 m² de terreno. Se trata de un satélite ágil (capaz de moverse y girar alrededor de sus tres ejes) y por tanto permite adquirir imágenes que cubran superficies adyacentes para aumentar el área de observación e incluso adquirir en una única pasada la misma imagen desde diferentes ángulos, para poder generar posteriormente imágenes en tres dimensiones. Esto le permite apuntar su gran cámara de alta resolución a objetos muy concretos con gran precisión. Así pues, consigue imágenes con un gran detalle incluso de puntos de la Tierra que no se encuentran debajo de su trayectoria, como carreteras, edificios, puertos... en la órbita elegida. DEIMOS-2 da la vuelta a la Tierra 14 veces al día (Elecnor Deimos, 2016).

Las principales características (tabla 1) del satélite DEIMOS-2 son (Deimos-Imaging, 2015):

- Plataforma ágil.
- Alto rendimiento en el "Attitude Control Subsystem" para señalar la precisión y estabilidad (tres ejes de estabilización usando 5 ruedas de reacción).
- Motores de gas xenón para el mantenimiento en órbita.
- 4 paneles solares externos con una generación de energía por panel de más de 400 Watts al final de su vida útil.

| Satellite name | DEIMOS-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----|-----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| International designations | 2014-033D / 40013 (NORAD) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Date of launch | June 19, 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Expected life time | At least 7 years | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orbit altitude | 620 km (Sun-Synchronous) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Local time at ascending node | 10:30 (ascending orbit) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Average revisit time | 2 days worldwide (with $\pm 45^\circ$ viewing angle) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sensor name | HiRAIS / EOS-D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sensor type | Optical | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bands and spectral ranges | <table><thead><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">λ @ FWHM (nm)</th></tr><tr><th>min</th><th>max</th></tr></thead><tbody><tr><td>PAN</td><td>560</td><td>900</td></tr><tr><td>Blue</td><td>466</td><td>525</td></tr><tr><td>Green</td><td>532</td><td>599</td></tr><tr><td>Red</td><td>640</td><td>697</td></tr><tr><td>NIR</td><td>770</td><td>892</td></tr></tbody></table> | | λ @ FWHM (nm) | | min | max | PAN | 560 | 900 | Blue | 466 | 525 | Green | 532 | 599 | Red | 640 | 697 | NIR | 770 | 892 |
| | λ @ FWHM (nm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | min | max | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAN | 560 | 900 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blue | 466 | 525 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Green | 532 | 599 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Red | 640 | 697 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR | 770 | 892 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Spatial resolution | <p>PAN/Pan-sharpened on nadir conditions:</p> <ul style="list-style-type: none">1 m GSD (PAN)75 cm in Pan-Sharpener products after ground processing <p>Multispectral:</p> <ul style="list-style-type: none">4 m GSD (Multispectral bands) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Depth of imaging (bits of radiometric resolution) | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Swath width | 12 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Along-track imaging capacity | Up to 1,400 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viewing/incidence angles | Agile platform allows up to $\pm 30^\circ$ pitch and $\pm 45^\circ$ roll down emergency scenarios | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Geometric accuracy | 100 m CE90 without GCP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stereo-pair capacity | Capable of single-pass stereo-pair acquisitions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| System capacity | Up to 200,000 km ² per day | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1. Características del DEIMOS-2 (Deimos-Imaging, 2015).

Los principales ámbitos donde puede dar servicio son (SINC, 2014):

- Agricultura.
- Medio ambiente.
- Cambio climático.
- Control de desastres naturales y protección civil (incendios e inundaciones)
- Defensa, inteligencia y control de fronteras.

A continuación se comentan las características que tienen las imágenes obtenidas del DEIMOS-2 por lo que se refiere a las resoluciones de imagen.

4.1.1.1 Resolución espacial

El canal pancromático tiene una resolución espacial de 1,0 m y el canal multiespectral es de 4,0 m. El producto estándar de DEIMOS-2 pancromático (Ortho) tiene una mida de píxel de 75 cm después del re-muestreo.

Todas las resoluciones se refieren en condiciones de observación “nadir”. Los productos con otras resoluciones espaciales en re-muestreo están disponibles por Elecnor mediante petición.

4.1.1.2 Resolución temporal

Para disminuir el tiempo de revisita, el satélite se puede configurar para tener un ángulo de visión de $\pm 45^\circ$ de la capacidad del nadir. Con la máxima inclinación, el campo de visión (FOV) puede extenderse a más de 600 km del punto más bajo. El tiempo de revisita medio global es de 2 días.

4.1.1.3 Bandas espectrales

El sistema DEIMOS-2 incluye cámaras pancromática y multiespectral, captando datos continuamente.

La cámara multiespectral se compone de 4 bandas: tres en el visible y una en el infrarrojo cercano (RGB y NIR). Para cada banda se tiene el siguiente rango espectral:

- Pancromático: 560 nm a 900nm.
- Multiespectral:
 - o B (azul): 466 nm a 525 nm.
 - o G (verde): 532 nm a 599 nm.
 - o R (rojo): 640 nm a 697 nm.
 - o NIR (infrarrojo cercano): 770 nm a 892 nm.

4.1.1.4 Métodos de adquisición de imágenes

- Imagen de tirada única: 12 km de ancho y hasta 1400 km de longitud de imagen.
- Multi-pointing imaging: realiza múltiples imágenes en diferentes puntos, se cambia de un objetivo a otro con un mínimo de tiempo de inactividad (figura 6).

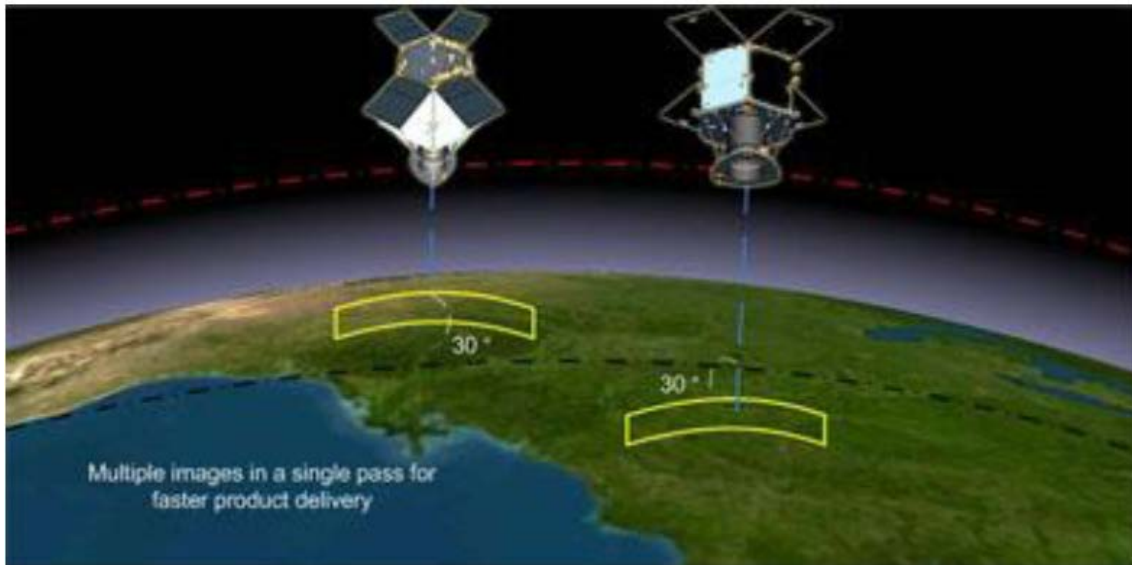


Figura 6. Esquema captura de datos “Multi-pointing imaging” (Deimos-imaging, 2015).

- Una sola pasada, imagen en estéreo (“Single pass stereo imaging”): dos adquisiciones de la misma zona en la misma órbita con diferentes ángulos de inclinación. Las imágenes que se obtienen son de 12 km de ancho y hasta 200 km de longitud. Al hacer las dos adquisiciones con ángulos diferentes se pueden generar imágenes en 3D (figura 7).

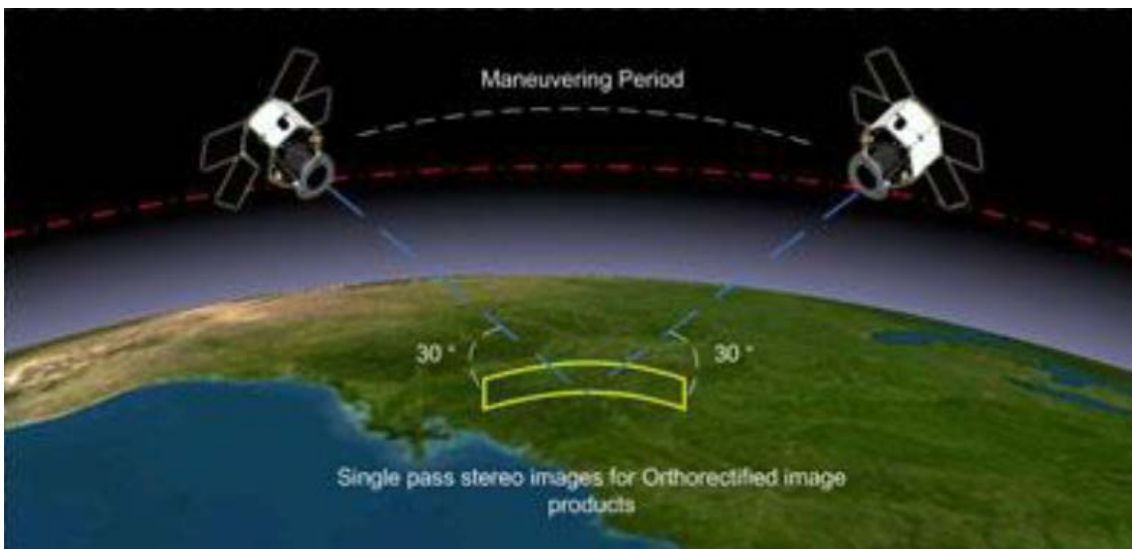


Figura 7. Esquema captura de datos “Single pass stereo imaging” (Deimos-imaging, 2015).

- Tessellation imaging: dos adquisiciones en la misma órbita con diferentes ángulos de cabeceo y balanceo. Se obtienen imágenes de 24 km de ancho hasta 200 km de longitud. compuesta por la adquisición de dos bandas adyacentes de 12 km de ancho cada una, capturadas con unos segundos de retardo.

4.1.1.5 Capacidad del sistema

DEIMOS-2 tiene la capacidad de capturar hasta 200.000 km² por día. Este volumen de datos se gestiona gracias a 32 Gbytes de capacidad de almacenamiento que utilizan dispositivos de memoria SDRAM, lo que permite capturar una franja de tierra de más de 1.400 km² en una sola pasada.

Los datos son descargados mediante la Unidad de Transmisión de Imágenes (ITU).

4.1.1.6 Precio de las imágenes

Elecnor-Deimos ofrece diferentes productos (como ya se ha visto en apartados anteriores), y el precio de los mismos varía según el producto que necesitemos (ver tabla 2).

Tabla 2. Precios imágenes DEIMOS-2 (SCS, 2016).

| L1 Product | Spatial Resolution | Bands | Archive | Standard Programming | Priority Programming |
|---------------|---------------------|---|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | | Minimum: 25 km ² | Minimum: 100 km ² | Minimum: 100 km ² |
| Pan-sharpened | 75 cm | 4 (B,G,R,NIR) 3 (B,G,R) 3 (G,R,NIR) | 7 \$/km ² | 14 \$/km ² | 26 \$/km ² |
| Bundle | 75 cm Pan 3 m MS | P + 4 (B,G,R,NIR) | 7 \$/km ² | 14 \$/km ² | 26 \$/km ² |
| Stereo-pair | 75 cm Pan 3 m MS | P + 4 (B,G,R,NIR) | 12 \$/km ² | 24 \$/km ² | 42 \$/km ² |

El producto utilizado en este trabajo es “Bundie” y tiene un precio medio entre los 14 \$/Km² y los 26 \$/Km², por lo que teniendo en cuenta que la imagen es de 12 Km² sale a un precio de entre 168 \$ y 312 \$.

4.1.2 ENVI

ENVI es el mejor software comercial de procesamiento y análisis avanzado de imágenes, de la empresa Harris Geospatial, el cual es utilizado por analistas de imágenes, investigadores, científicos y profesionales de la teledetección y del SIG en una amplia variedad de disciplinas.

En los últimos años se ha incrementado la demanda de este software gracias a sus herramientas fáciles de usar, su funcionalidad comprobada y resultados rápidos.

Obtener información de imágenes geoespaciales es cada día más importante dada la creciente utilización de estas fuentes de información para realizar estudios. Es por eso que las herramientas y procesos son esenciales ya que la información se debe extraer fácilmente y de manera precisa sin importar el ámbito que la precise.

Permite realizar tareas como (Harris Geospatial, 2016):

- Orto-rectificación de imágenes.
- Registrar dos a más imágenes.
- Calibrado de imágenes.
- Corrección de distorsiones atmosféricas.
- Crear capas vectoriales.
- Identificación de regiones de interés (ROIs).
- Creación de modelos digitales de elevación (MDEs).
- Fusión de imágenes, máscaras, generación de mosaicos.
- Reescalar o rotar la imagen
- Detectar cambios de forma ágil.
- Clasificar imágenes con métodos supervisados (o no).
- Calcular índices de vegetación.

ENVI está desarrollado en una plataforma extensible que permite acceder fácilmente a la información y ajustar las aplicaciones a nuestras necesidades.

Soporta imágenes con los formatos utilizados por numerosos satélites y sensores aerotransportados incluyendo imágenes pancromáticas, hiperespectrales, multiespectrales, de radar y térmicas. Tiene capacidad de trabajar con más de 70 formatos de datos incluyendo HDF, GeoTIF y JITC (NITF).

5. Metodología de trabajo

Tal como se ha indicado más arriba, se dispone de cuatro imágenes registradas por el satélite DEIMOS-2, y cedidas gratuitamente por la empresa Deimos Imaging. Dos de las imágenes son de la zona de Girona (Cataluña, España) y las otras dos se ubican en la Cataluña central, con la ciudad de Manresa (Cataluña, España) en el borde más inferior de una de ellas.

Para la realización del estudio llevado a cabo, y con los objetivos señalados antes, ha sido suficiente con procesar una de las imágenes, en concreto se ha utilizado la que incorpora la zona de Manresa. En la escena tratada hay muchas explotaciones mineras para analizar a la vez, entre ellas se encuentran las dos montañas de sal de la empresa ICL, una en el municipio de Sallent y la otra en el municipio de Súria.

También se ha utilizado un archivo en formato .SHP, en el cual se encuentran los límites de las actividades extractivas de todo Cataluña, y que fue obtenido del *Departament de Territori i Sostenibilitat* de la Generalitat de Catalunya (Gencat, 2016).

Partiendo de la imagen satelital elegida y del archivo vectorial con la información de las actividades extractivas, se ha procedido a hacer una clasificación de las diferentes cubiertas que hay en las explotaciones mineras de la imagen satelital.

Para tratar la información se ha procedido de la manera que visualiza el siguiente esquema (figura 8):

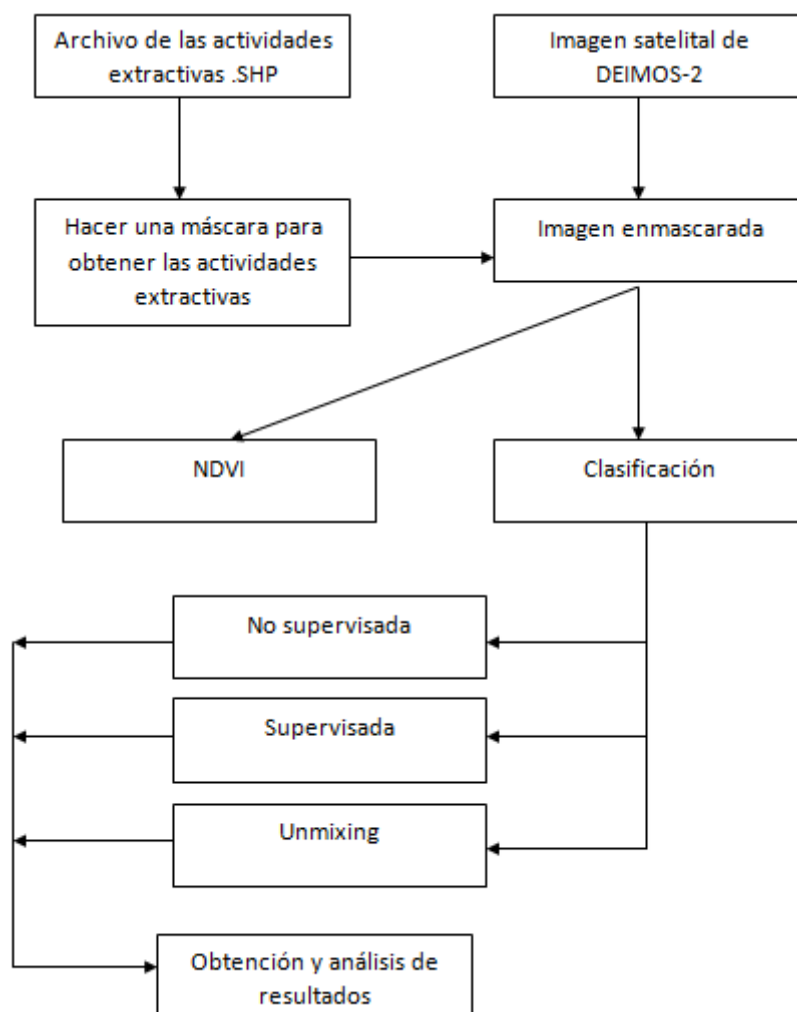


Figura 8. Esquema del procedimiento del trabajo.

A partir del archivo de las actividades extractivas de Cataluña (formato .shp) y la imagen satelital de la zona a estudiar, se ha construido en primer lugar una máscara que permita trabajar solo con las zonas de actividades extractivas y, poder prescindir del resto de la imagen, ahorrando así tiempo en el proceso de cálculo y la aparición de posibles errores al trabajar con todos los píxeles de la imagen (figura 9).

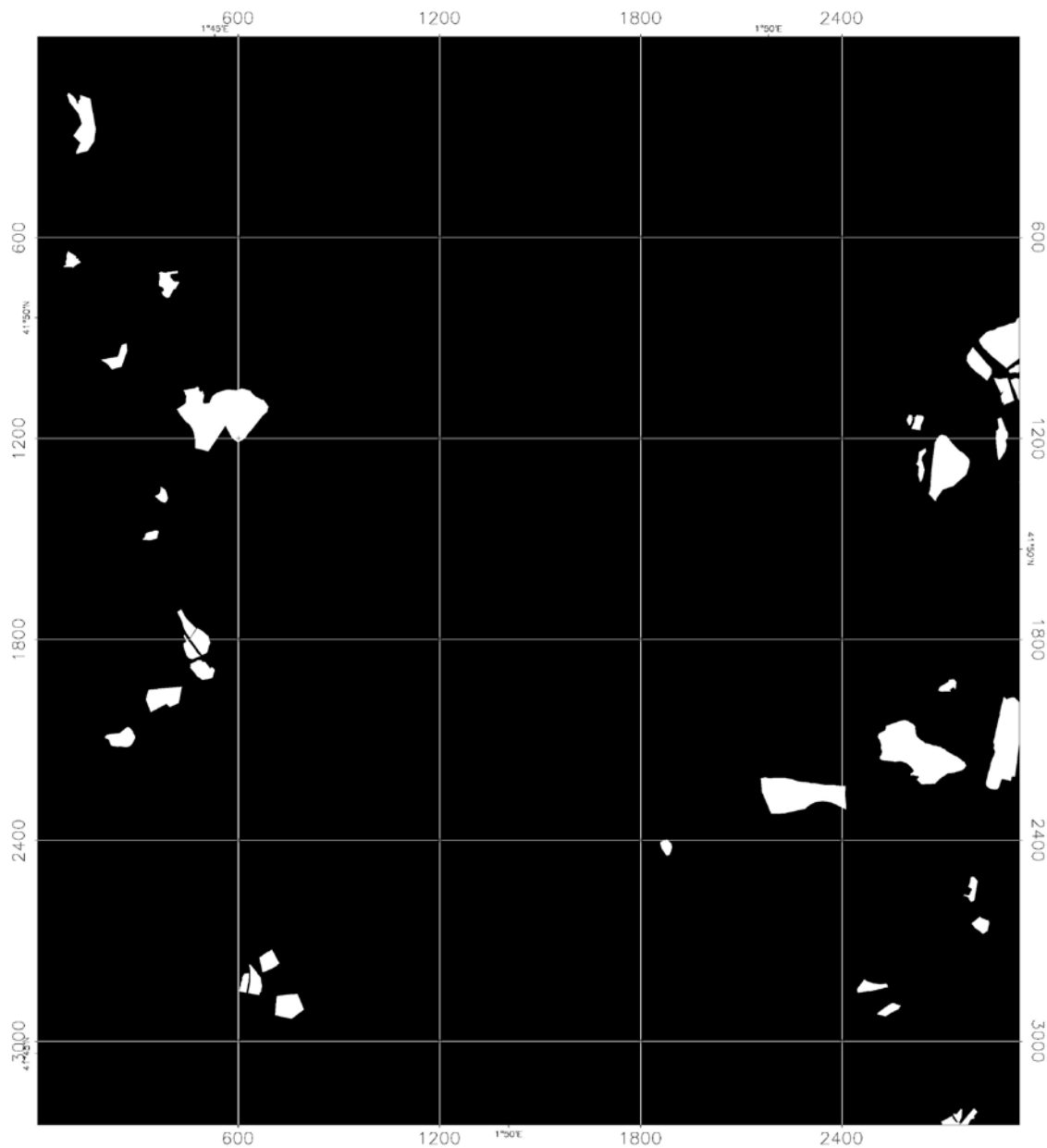


Figura 9. Máscara de la zona a estudiar (de color blanco las actividades extractivas de la zona).

A partir de una superposición de la máscara con la imagen satelital, se obtiene la imagen enmascarada (figura 10), imagen digital que se utiliza para realizar todos los estudios posteriores de la zona.

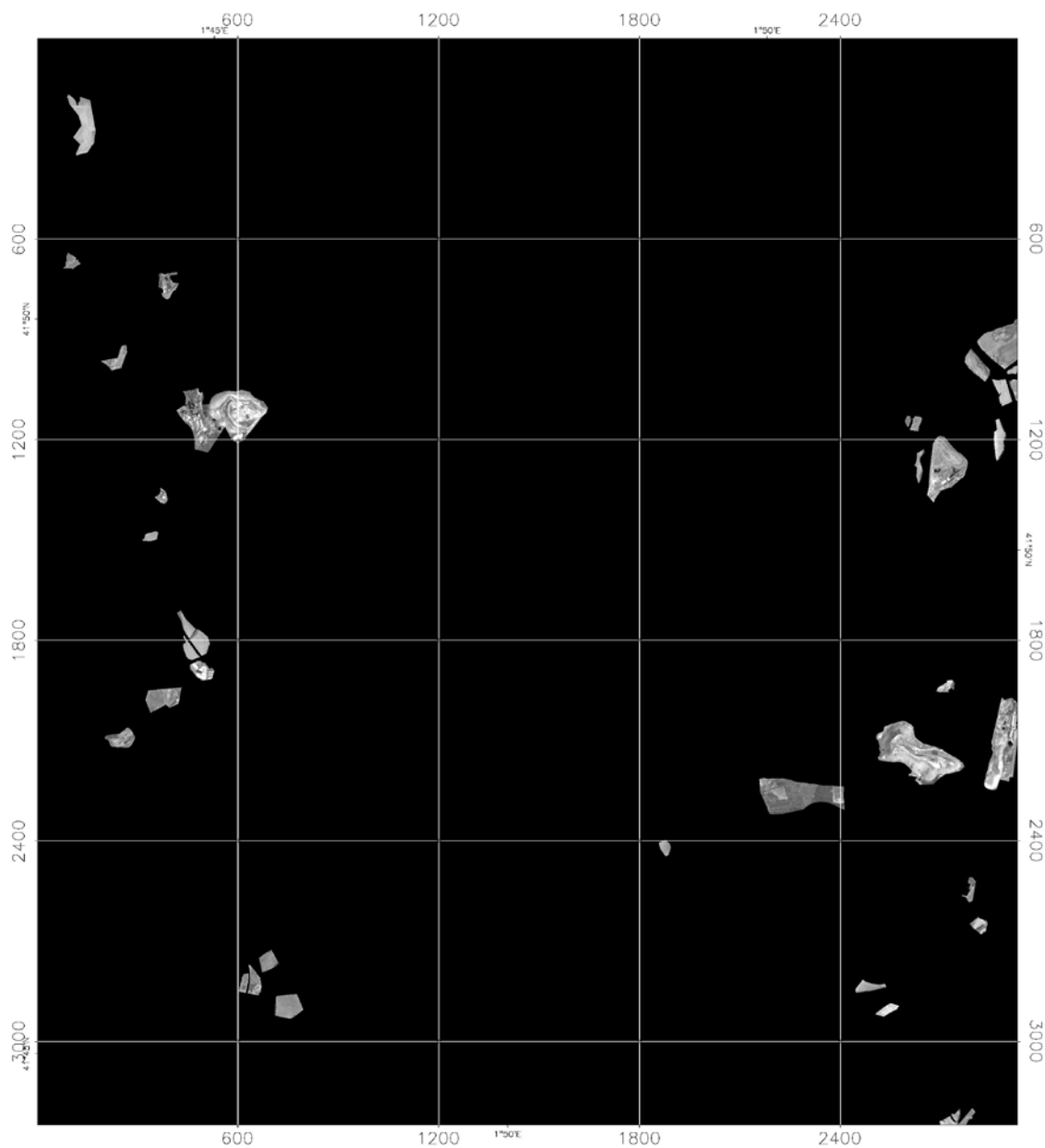


Figura 10. Imagen enmascarada de la zona a estudiar.

A continuación se ha procedido a realizar una clasificación espectral de los píxeles interiores a las zonas enmascaradas, dentro de los límites oficiales de las actividades extractivas en activo, siguiendo los siguientes tres métodos, o criterios, de clasificación:

- No supervisada
- Supervisada
- Unmixing (subpíxel)

La finalidad de hacer las diferentes clasificaciones es obtener las diferentes superficies de ocupación del suelo y comparar los resultados entre ellas.

A la vez también se hace un NDVI (figura 18) de las zonas donde hay actividades extractivas para ver el índice de vegetación que hay en ellas.

5.1 Clasificación no supervisada

Para hacer la clasificación no supervisada se parte de la imagen satelital enmascarada (figura 11), ya que lo que se pretende es obtener una clasificación de las diferentes cubiertas que hay en cada actividad extractiva sin facilitar al software una información previa

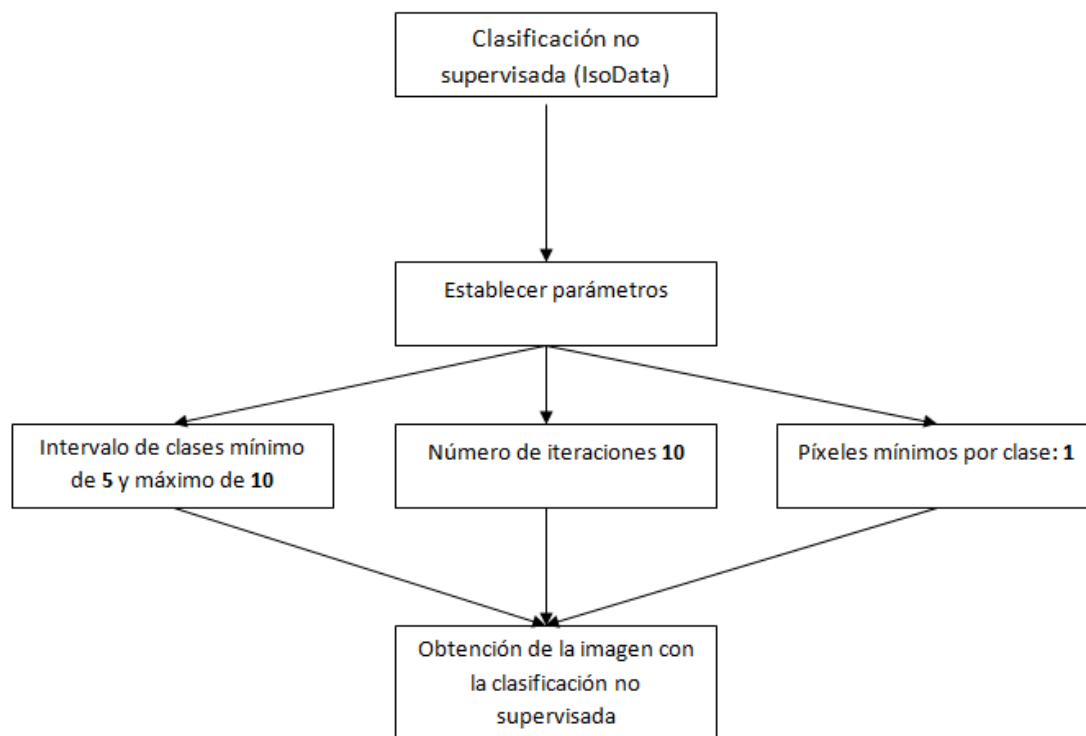


Figura 11. Metodología de la clasificación no supervisada.

La clasificación no supervisada la hace automáticamente el software, a partir de unos intervalos, que debe decidir quién maneja el programa de cálculo, sobre cuantas clases se quieren diferenciar al hacer la clasificación del suelo. En el caso de este trabajo se ha decidido tomar inicialmente entre 5 y 10 clases, y no prescindir de ninguna de las cuatro bandas del sensor multiespectral.

Automáticamente se ha generado una imagen de la zona, mostrando una clasificación de la superficie de la imagen con tan solo 7 clases (figura 14). El programa hace la clasificación a partir de los niveles de gris de cada píxel, que representan la reflectancia del terreno asociado a cada píxel para cada una de las cuatro bandas espectrales, es decir, identifica posibles firmas espectrales y las asocia en clases.

Es por eso que esta clasificación nada más nos puede dar una idea de las diferentes cubiertas que se encuentran en la zona a estudiar. Así pues, hace falta hacer un trabajo posterior de campo para identificar las clases. Como en este caso se procede a llevar a cabo una clasificación supervisada, durante el proceso inicial de la misma se procede a identificar las diferentes cubiertas que se han obtenido en la clasificación no supervisada.

5.2 Clasificación supervisada

Igual que en el punto anterior (4.1. clasificación supervisada), se parte de la imagen enmascarada para realizar la clasificación supervisada del terreno (figura 12).

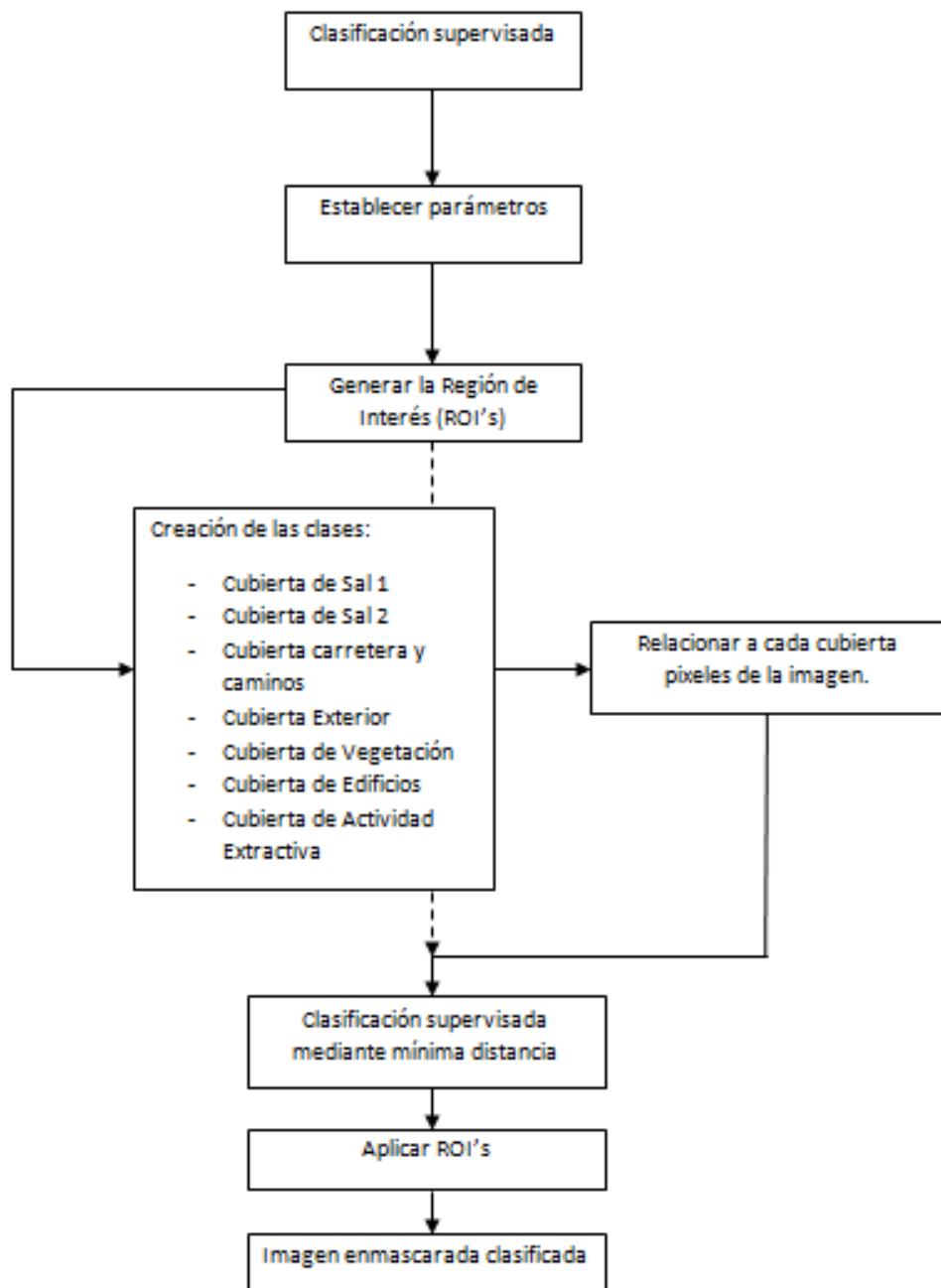


Figura 12. Metodología clasificación supervisada.

Con la visita *in situ* al terreno, se ha decidido crear una leyenda con tan solo cinco clases de cubierta del suelo:

- Cubierta de sal.
- Cubiertas de edificios.

- Cubierta de carreteras y caminos.
- Cubierta actividad extractiva.
- Cubierta Vegetación.

Como se ve en el esquema anterior (figura 12) se tiene que clasificar la montaña de sal con dos cubiertas: cubierta Sal 1 y cubierta Sal 2; para poder conseguir eliminar parte de la distorsión que provoca en la clasificación no supervisada entre la cubierta de sal y la cubierta de edificios (figura 13).

#2 ROI Tool

File ROI_Type Options Help

Window: ☐ Image ☒ Scroll ☐ Zoom ☐ Off

| | ROI Name | Color | Pixels | Polygons | Polylines | Points | Fill | Orien | Space |
|---|-------------------------------|---------|---------|----------|-----------|---------|-------|-------|-------|
| * | Cubierta de Sal 1 | Red | 9,279 | 0/0 | 0/0 | 9,279 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta de Sal 2 | Red | 3,834 | 0/0 | 0/0 | 3,834 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta carretera y caminos | Blue | 24 | 0/0 | 0/0 | 24 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta Ext | White | 126,688 | 0/0 | 0/0 | 126,688 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta Vegetación | Yellow | 203 | 0/0 | 0/0 | 203 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta de Edificios | Cyan | 747 | 0/0 | 0/0 | 747 | Solid | 45 | 0.10 |
| | Cubierta Actividad Extractiva | Magenta | 1,310 | 0/0 | 0/0 | 1,310 | Solid | 45 | 0.10 |

Figura 13. Print-screen del ROI's que generamos con ENVI.

También se tiene que clasificar la zona que rodea a las actividades extractivas para que no interfiera en la clasificación de ninguna otra cubierta de la zona de estudio.

5.3 Clasificación “Unmixing”

Los métodos de clasificación anteriores consideran que un solo punto puede pertenecer a una única clase, haciendo lo que se llama una clasificación dura. El valor digital medio para un punto es una combinación de los distintos tipos de cubierta que se encuentran en la superficie correspondiente al píxel.

La técnica del “*spectral unmixing*” trata de encontrar en qué proporción cada cubierta forma parte de los distintos píxeles de la imagen. Para ello se parte de unos patrones espectrales, los “*end-members*”.

En el caso de este trabajo se ha partido de la verdad terreno aportada por los ROI's (*Region Of Interest*), ya que hay diversos estudios que aseguran que los *end-members*

de estas librerías no se ajustan totalmente a otras zonas de estudio (Sobrino, J.A., 2000).

El conjunto de ROI's utilizado es el mismo que el utilizado en la clasificación supervisada (figura 13).

Una vez aplicados los ROI's a la imagen enmascarada, esta técnica nos genera una imagen por cada clase de cubierta que se ha representado en los ROI's, así pues en este caso se generan 7 imágenes correspondientes a los 7 tipos de cubierta de acuerdo al esquema metodológico de esta técnica (figura 14).

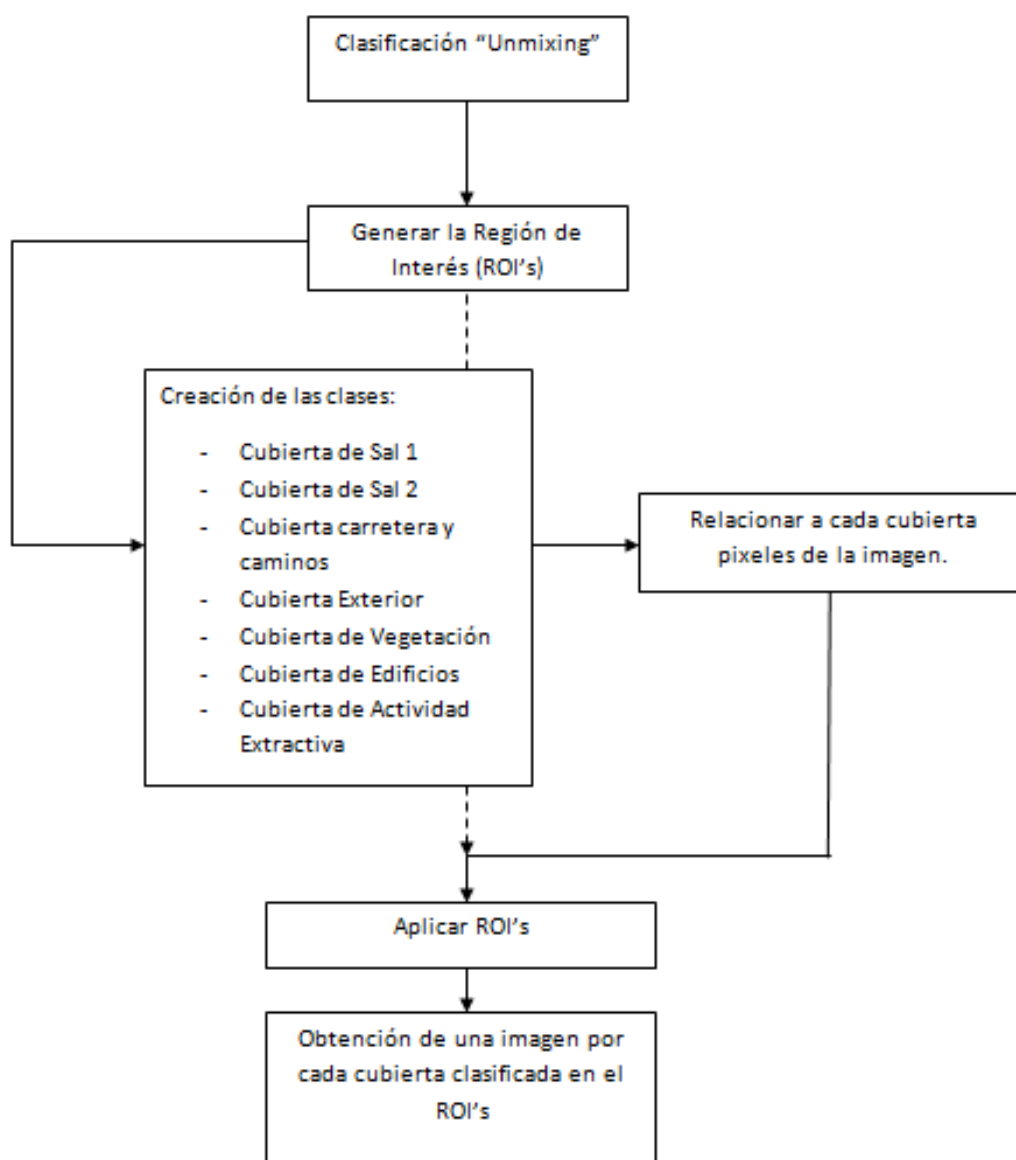


Figura 14. Metodología de la clasificación Unmixing.

5.4 NDVI (Índice de Vegetación)

En todo estudio de teledetección, que trate de identificar el tipo de cubierta de una zona, resulta imprescindible tener un conocimiento de dónde hay vegetación; ello nos permite tener una cierta confianza cualitativa en los resultados de las diferentes clasificaciones. Para ello, se procede a obtener el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia de la vegetación para las longitudes de onda del infrarrojo cercano (IRC) y del rojo (R). Viene dado por la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

Con la imagen satelital que se ha trabajado en este trabajo (DEIMOS-2), las bandas que a utilizar son la Banda 3 (Red) y la Banda 4 (NIR).

El software ENVI permite hacer el NDVI de una imagen de manera automática, se ha optado por realizar el cálculo del NDVI mediante la calculadora que proporciona el mismo programa con la fórmula mostrada más arriba.

Los valores que retorna van de -1 a 1. Si se parte de la imagen enmascarada ENVI genera una imagen de las actividades extractivas con las zonas vegetales marcadas (figura 19).

6. Resultados obtenidos y análisis de los mismos

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos al hacer los pasos descritos en el apartado anterior. Así pues se muestran las diferentes imágenes que se han obtenido al hacer cada paso.

La finalidad de hacer las diferentes clasificaciones es obtener las superficies de las diferentes cubiertas de las que se componen las actividades extractivas.

Una vez generadas las imágenes con las diferentes clasificaciones se miran las estadísticas para poder extraer el número de píxeles que hay de cada clase, que multiplicados por el tamaño de pixel se obtendrán las superficies de las diferentes cubiertas.

6.1 Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada (figura 15) que hace ENVI genera un mapa de la zona con cubiertas de diferentes colores. En este caso se ha hecho entre 5 y 10 clases, ENVI ha generado una imagen con 7 clases de cubiertas diferentes.

Una de las 7 clases (color blanco) se tiene que descartar ya que es la cubierta que rodea a las actividades extractivas que hay en la zona de estudio.

Los valores obtenidos de hacer esta clasificación aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Estadísticas de las diferentes cubiertas de las actividades extractivas.

| | Nº píxels | Ocupación % | Km ² |
|----------|-----------|-------------|-----------------|
| 1 | 4 | 0,002% | 0,64 |
| 2 | 10320 | 5,466% | 1651,2 |
| 3 | 88139 | 46,681% | 14102,24 |
| 4 | 67306 | 35,647% | 10768,96 |
| 5 | 22592 | 11,965% | 3614,72 |
| 6 | 449 | 0,238% | 71,84 |

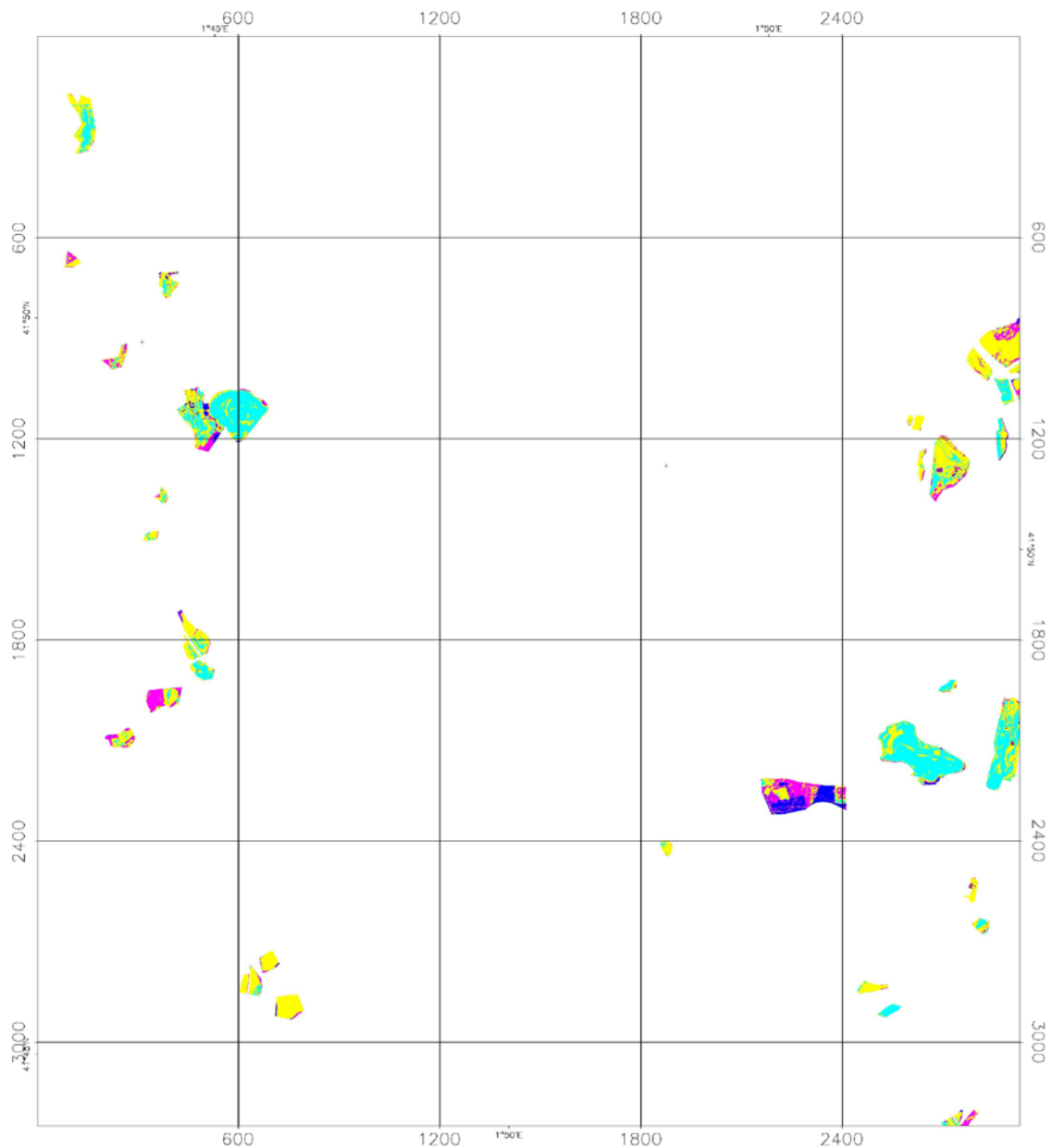


Figura 15. Clasificación no supervisada.

La clasificación obtenida es bastante aproximada a la realidad, ya que las zonas de color azul, sobre todo las dos más grandes a los dos extremos de la imagen se corresponden a las dos montañas de sal que tiene ICL Iberia en los municipios de Súria y de Sallent.

Si se hace un zoom (figura 16) a una de las dos zonas donde están situadas las montañas de sal, se puede ver algunas de las distorsiones que se generan al hacer la clasificación no supervisada.

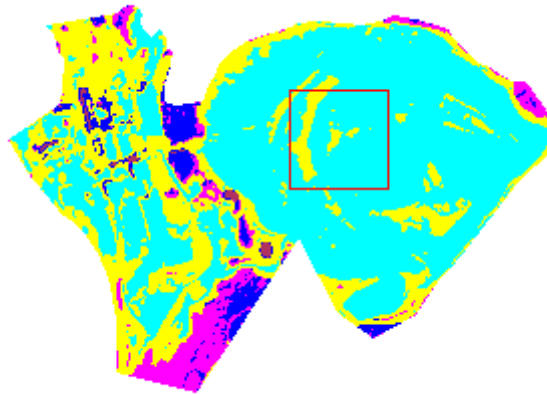


Figura 16. Zoom de la concesión minera ICL Iberia en Siria.

La categoría que más distorsión lleva es la de color azul claro ya que confunde la cubierta salida de las montañas con las cubiertas de los edificios industriales que hay en la misma zona.

Otra categoría que genera distorsión, pero en este caso no tanto es la clase de color amarillo, ya que la coloca dentro de la zona salina de la montaña de sal.

Las categorías que crean distorsión quedan más caracterizadas en la clasificación supervisada.

6.2 Clasificación supervisada

Para poder hacer la clasificación supervisada primero de todo hay que saber la verdad terreno de la zona; para ello se realiza el conjunto de ROI's (ver punto 5.2). Gracias a estas regiones de interés establecidas ENVI genera una imagen con la clasificación de cada cubierta que hay en las actividades extractivas.

La imagen generada queda clasificada en 5 clases ya que como se ha mencionado en el apartado anterior (ver 5.2.) se tienen dos clases de cubierta de sal y una que es la cubierta exterior (color blanco) que se tiene que despreciar ya que es la zona que se encuentra fuera de las actividades extractivas (figura 17).

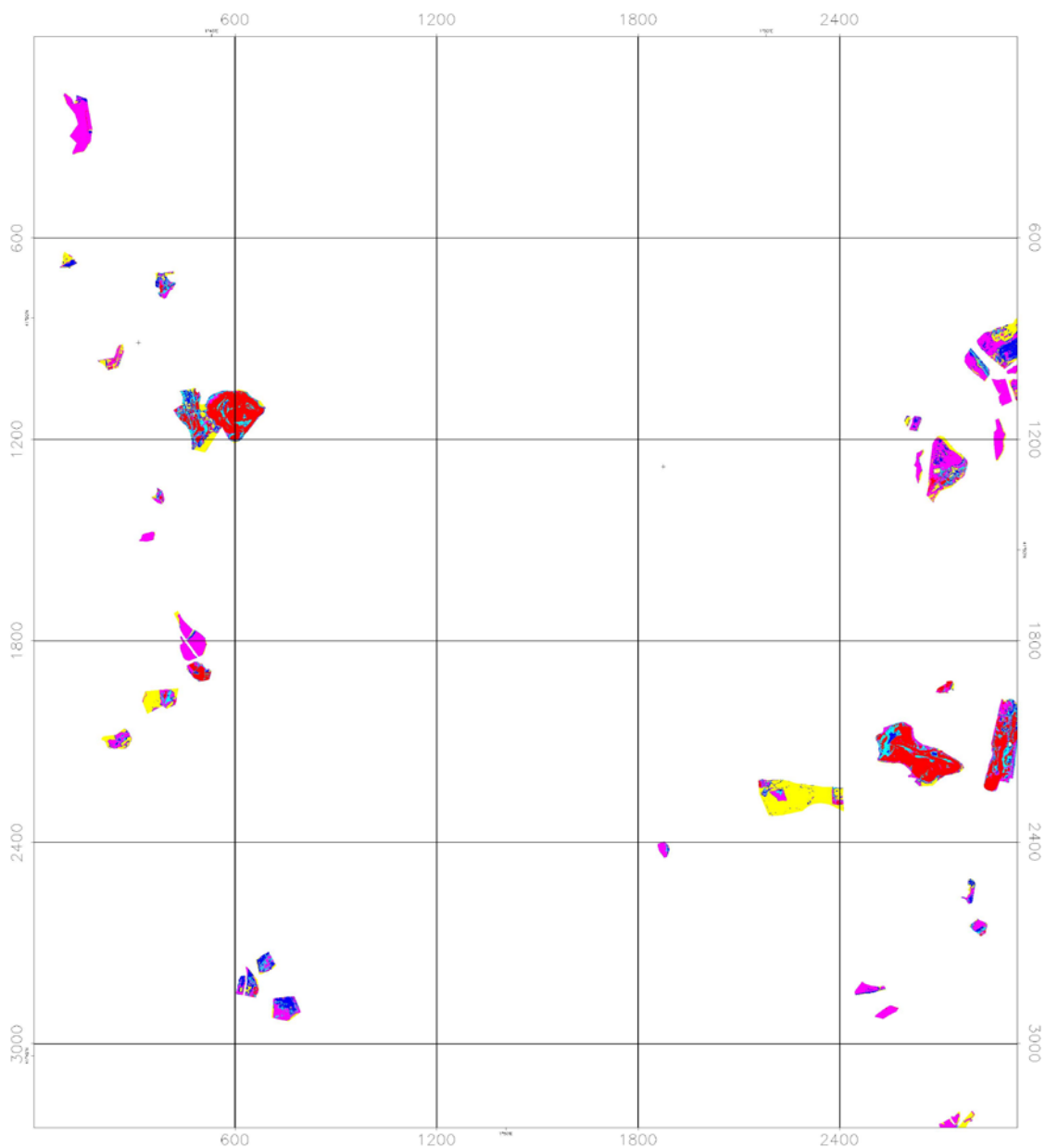


Figura 17. Clasificación supervisada de la zona a estudiar.

Como se puede ver en la imagen anterior (figura 17) la superficie ha quedado mejor clasificada y sin tantas interferencias, todo y que siguen habiendo puntos en los que se confunden las cubiertas de sal con las de los edificios. Las diferentes cubiertas que se identifican quedan representadas por la tabla 4.

Tabla 4. Características de la imagen supervisada

| | Nº píxels | Ocupación % | Km ² |
|---|-----------|-------------|-----------------|
| Cubierta de Sal | 46239 | 24,552% | 7398,24 |
| Cubierta carreteras y caminos | 21107 | 11,207% | 3377,12 |
| Cubierta de Vegetación | 38055 | 20,206% | 6088,8 |
| Cubierta de Edificios | 20633 | 10,956% | 3301,28 |
| Cubierta de Actividad Extractiva | 62297 | 33,078% | 9967,52 |

Como se puede observar ahora la cubierta que más abunda en el total de las actividades extractivas es la cubierta de “actividad extractiva” o lo que es igual a la zona explotada dentro de una mina (suelo desnudo).

La cubierta de sal sigue siendo de las que más extensión ocupa, pero tenemos que tener en cuenta que sigue habiendo una distorsión con las cubiertas de los edificios, y clasifica partes de lo que tendría que ser edificio como sal (figura 18).

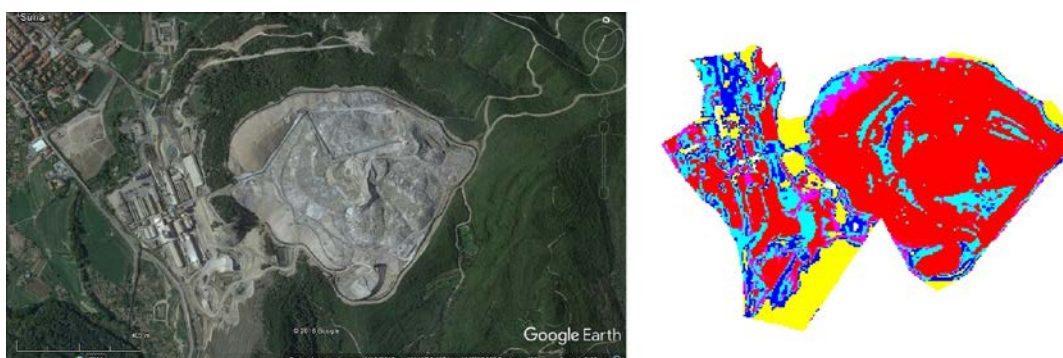


Figura 18. Imagen de Google Earth 2012 vs cubiertas clasificación supervisada ICL Iberia (Súria).

Hay que tener en cuenta que la imagen de Google Earth está tomada en 2012 y la imagen satelital que ha sido procesada es del 2014. Todo y eso, se puede observar como hay coincidencia en la cubierta de sal, pero también se tiene bastante confusión entre las zonas que pertenecen a las fabricas de la misma concesión minera y la montaña de sal.

El principal problema por el que se confunden estas dos superficies es que nada más se distinguen en una de las 4 bandas, así pues es muy difícil que ENVI separe estas dos cubiertas perfectamente por mucho que se aplique la verdad terreno sobre el propia mapa (figura 19).

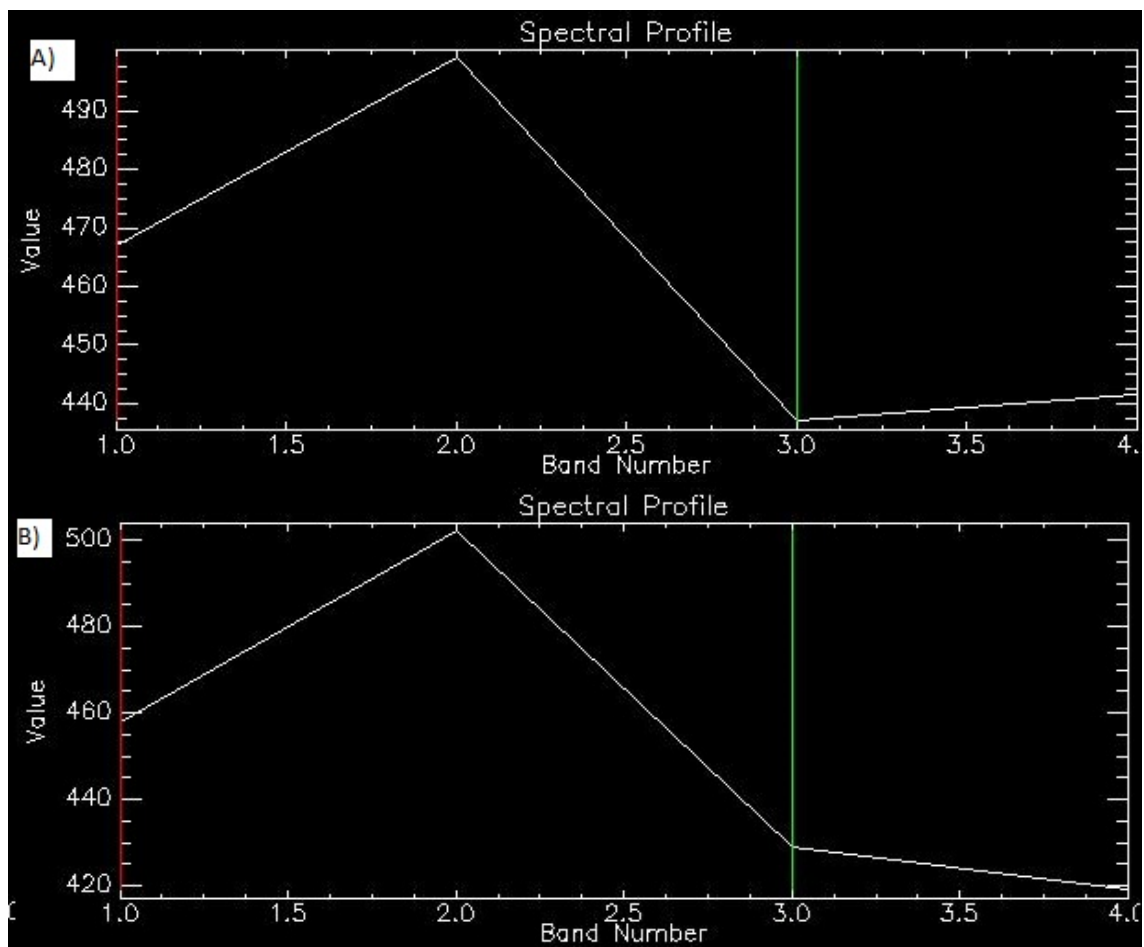


Figura 19. Z-Profile de los píxeles correspondientes a: A) Cubierta de edificios B) Cubierta de Sal.

6.3 Clasificación “Unmixing”

Al igual que para poder hacer la clasificación supervisada, para hacer la clasificación Unmixing hace falta partir de unas regiones de interés ya definidas (ROI's) para hacer la clasificación supervisada.

Las imágenes generadas (anexos) son tantas como cubiertas se han clasificado; en este caso 7 clases de cubiertas (ver figura 13). Representan las diferentes cubiertas con escalas de grises. Donde hay valores próximos a 100 quiere decir que el píxel es completamente de ese tipo de cubierta, y a valores próximos a 0 corresponden a píxeles que no tienen ese tipo de cubierta.

El principal problema que ha habido con esta clasificación es el mismo que con las otras clasificaciones anteriores: algunas cubiertas se confunden entre si, como son la cubierta de sal con la cubierta de edificios.

Esta confusión se aprecia en el gráfico de los *end-members* que se pueden extraer de la ventana de las regiones de interés (ROI's) (figura 20).

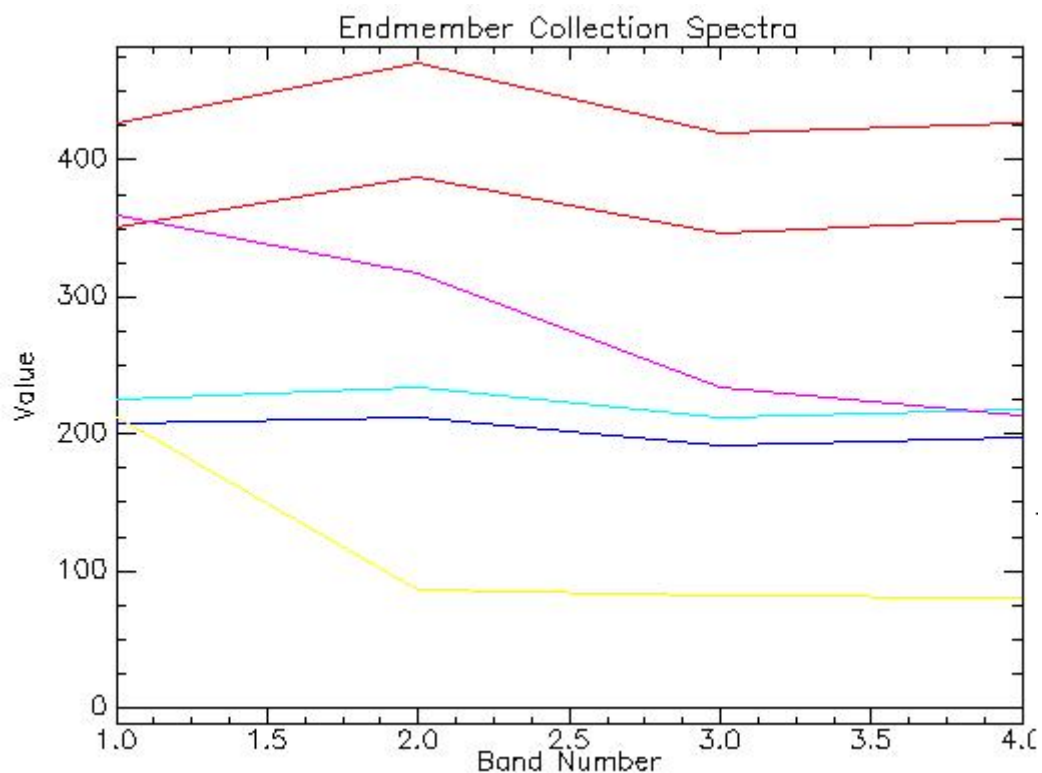


Figura 20. Gráfico valor espectral de cada cubierta.

Lo que se aprecia en la figura anterior (figura 20) es el paralelismo que hay en las cubiertas de sal (color rojo) con las cubiertas impermeables (color azul y cian) que pertenecen a edificios y carreteras y caminos.

Es por eso que la clasificación que nos genera ENVI provoca estas distorsiones entre estas cubiertas.

6.4 NDVI (Índice de Vegetación Normalizado)

El NDVI como ya se ha dicho en el apartado correspondiente (ver apartado 5.4) muestra el nivel de vegetación que se tiene en la zona de estudio donde se aplique. Estos niveles se muestran entre -1 y 1 (figura 21). Para poder apreciar mejor el resultado de hacer el NDVI se ha realizado el valor negativo de la imagen.

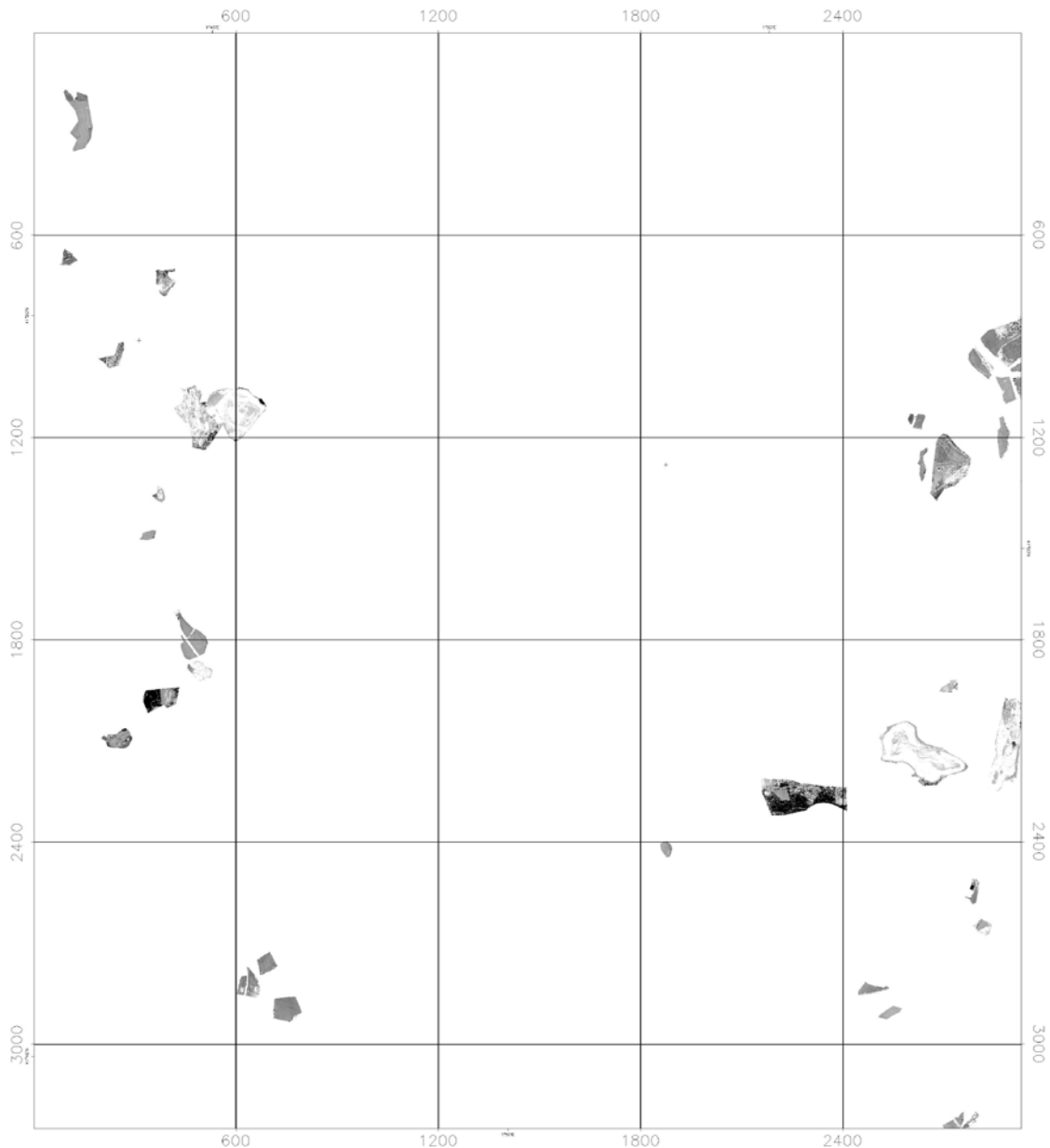


Figura 21. NDVI de la zona de estudio.

Al haberse hecho el negativo, se distinguen de color negro los píxeles donde hay más abundancia de vegetación, y los más claros (blancos) donde no hay nada de vegetación (al contrario de lo habitual).

Se aprecia que las dos zonas de las montañas de sal de Súrria y de Sallent se visualizan prácticamente en su totalidad de color blanco, ya que no hay vegetación en ellas (figura 22).

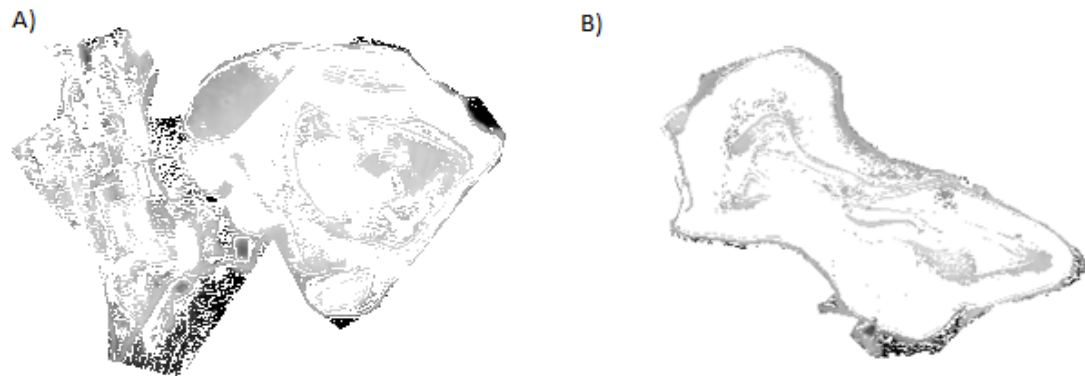


Figura 22. Zoom del NDVI de las dos montañas de sal. A) Súrria B) Sallent.

7. Conclusiones

Los principales objetivos personales se han realizado con éxito, ya que se ha aprendido a trabajar con un programa de análisis de imágenes satelitales como es ENVI.

También se ha llevado una metodología específica para cada tipo de clasificación, con sus pasos de preparación previos, como encontrar archivos de las administraciones que nos ayudan a realizar las máscaras para poder separar tramos de la imagen (actividades extractivas) de la demás información que tiene la imagen satelital.

Por lo que hace a los objetivos generales del trabajo han surgido diferentes problemas que se han podido solventar y otros que no.

La clasificación no supervisada ENVI no la realiza del todo correcta ya que hay muchas zonas que siendo de diferentes cubiertas, el programa las confunde y las clasifica mezclando las cubiertas entre ellas. Eso pasa en las cubiertas de la montañas de sal, que teniendo que ser todas de una sola clase de cubierta aparecen en diferentes colores.

La clasificación supervisada aporta mucha más exactitud en sus resultados, ya que muchos de estos píxeles de la imagen se pueden limpiar gracias a las creaciones de las regiones de interés (ROI's), todo y eso sigue habiendo errores en la clasificación que hace el programa con las cubiertas de sal y de los edificios.

La clasificación Unmixing no nos ha aportado valores fiables, ya que al hacer la clasificación del terreno mediante el mismo conjunto de ROI's que la clasificación supervisada, tendría que generar las imágenes correspondientes a coger cada cubierta y dejar visible solamente a esa clase en toda la zona.

El NDVI es el parámetro que mejor representa la realidad, ya que fijándonos en la imagen que se genera los valores resaltados se corresponden a vegetación.

Gracias a este último parámetro y las muestras de campo podemos concluir que la cubierta que se clasifica con una alta exactitud es la cubierta de vegetación, ya que se corresponde tanto en los valores más oscuros del NDVI como en las zonas clasificadas mediante la clasificación supervisada como cubierta vegetal.

Cabe decir que el NDVI que genera el programa (ENVI) no se ha aceptado como una imagen correcta ya que no mostraba certeza en los resultados al compararlos en el

campo. Es por eso que se ha recurrido al cálculo del NDVI mediante la introducción de formulas que permite el programa.

Como conclusión final, decir para hacer una clasificación de cubiertas de una zona en concreto es mejor disponer de imágenes captadas por satélites con mejor resolución espectral (más bandas) ya que en algunos casos no se han podido distinguir pixeles de diferentes cubiertas porque nada más se diferencian en una banda espectral de la imagen.

8. Agradecimientos

Primero de todo agradecer al Sr. Aureli Martí, de la empresa Deimos-Imaging, y a la misma empresa, por la cesión de las imágenes espaciales del satélite DEIMOS-2, ya que sin ellas la realización de este trabajo no hubiese sido posible.

En segundo lugar a mi tutor, Juan Jorge por sus días de apoyo en horas no muy convencionales y su ayuda para la guía de la realización de este trabajo.

Finalmente a mi familia más cercana M^a Carmen, Paco y Marta, y a mi novia Mireia por el gran apoyo y ánimo para poder cumplir mis objetivos personales.

9. Referencias bibliográficas

Sebmen, H., D. and Demirel, N. (2012), Remote Sensing of the Mine: Environment. Taylor and Francis Group. 170 pp.

López, M. J. y Caselles, V. (1991), La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura. Universidad de Valencia. Valencia.

Jensen, J.R. (2007), Introductory to Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Prentice Hall Series in Geographic Information Science.

Pérez, G. C. y Muñoz, N, A. I. (2006), Teledetección: Nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca. 360 pp.

Deimos-Imaging. (2015), DEIMOS-2 Imagery user guide. 22 pp.

Rodríguez, G. V. y Chica, O. M. (2015), Cartografía de potencialidad de oro en Rodalquilar: uso de imágenes hiperespectrales Hyperon como fuente de información. Teledetección: *Humedales y Espacios Protegidos*. Libro de Actas del XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 317-320 pp.

Lora, L. J. C. (2016), Comparativa de sensores espaciales de diferente resolución espectral en la exploración minera. Trabajo final de Máster. Universidad Politécnica de Cataluña.

Pérez G. J. L. *et al.* (2015), Análisis del uso de datos LiDAR sobre helicóptero para control de taludes carreteros. Teledetección: *Humedales y Espacios Protegidos*. Libro de Actas del XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 403-406 pp.

Azañón, J. M. *et al.* (2015), Uso de datos LiDAR aéreos en 3D para el control de movimientos de ladera. Caso de estudio del deslizamiento de Diezma (Granada). Teledetección: *Humedales y Espacios Protegidos*. Libro de Actas del XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 407-410 pp.

Buzzi, M. J.; Rianza, G. A.; García, M. A.; Holzwarth, S. (2013), Detección de cambios en los sedimentos de un río afectado por drenaje ácido de mina mediante imágenes hiperespectrales (río Odiel, Huelva). Teledetección: *Sistemas Operacionales de Observación de la Tierra*. Libro de Actas del XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 406-409 pp.

Riaza, A.; García, M. E.; Carrère, V.; Mueller, A. (2013), Cartografía de sales marinas y fluviales en estuarios receptores de aguas ácidas con imágenes hiperespectrales Hyperon (Marismas del río Odiel, Huelva). Teledetección: *Sistemas Operacionales de Observación de la Tierra*. Libro de Actas del XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 485-488 pp.

Sobrino, J. A.; Raissouni, N.; Ker, Y. *et al.* (2000), Teledetección. Valencia: Universidad, Servicio de Publicaciones. 467 pp

UCM. Disponible en: <<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>>. Última consulta: 28 de Setiembre de 2016.

Agencia Sinc. Disponible en: <<http://www.agenciasinc.es/Noticias/DEIMOS-2-el-primer-satelite-espanol-de-muy-alta-resolucion-ya-esta-en-orbita>>. Última consulta: 25 de Setiembre de 2016.

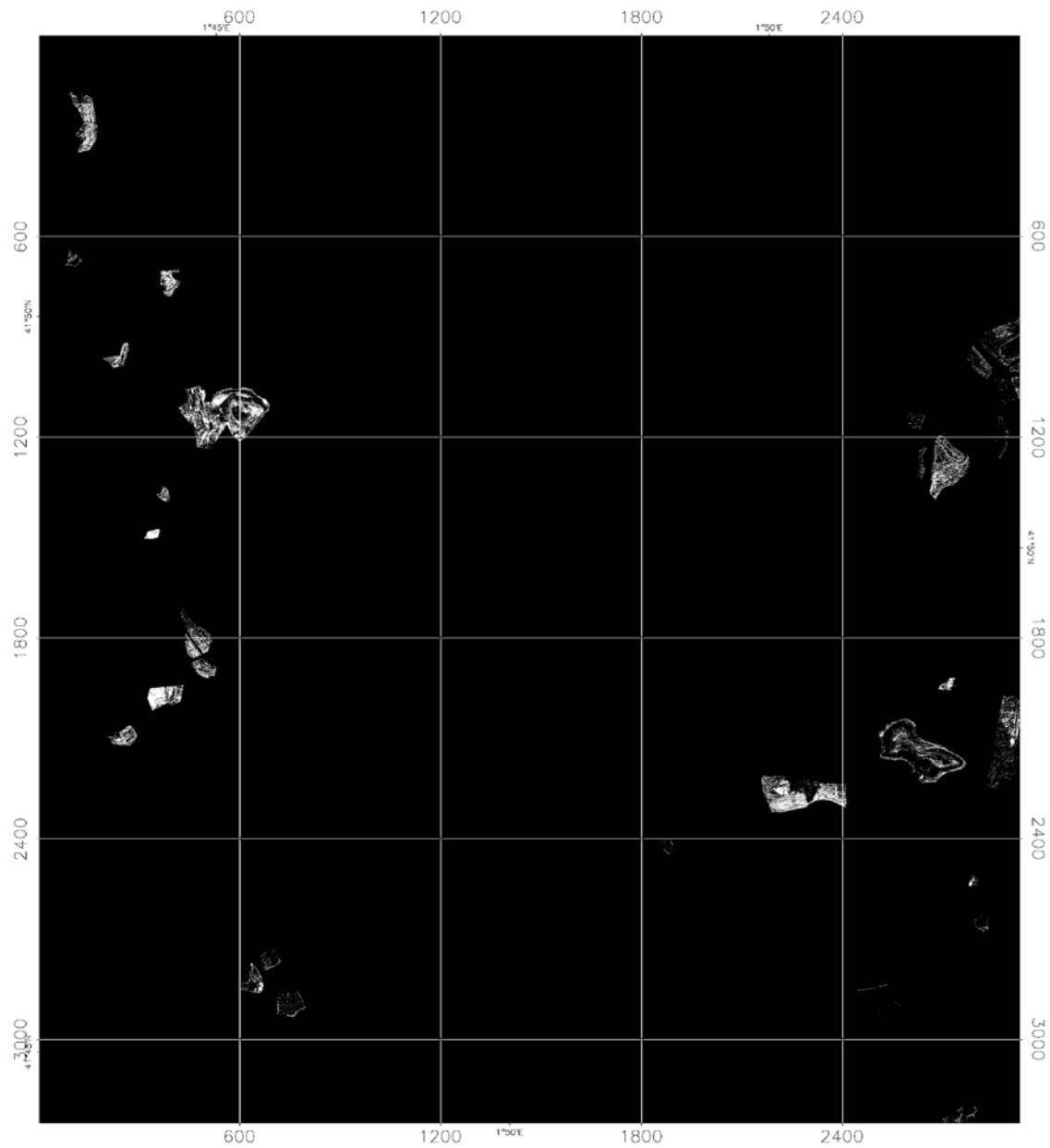
Elecnor Deimos. Disponible en: <<http://www.deimos-space.com/elecnordeimos/>>. Última visita: 29 de Agosto de 2016.

Gencat. Disponible en: <http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/cartografia_en_format_miramon_sig/bases_disponibles/focus/04/>. Última consulta: 5 de setiembre de 2016.

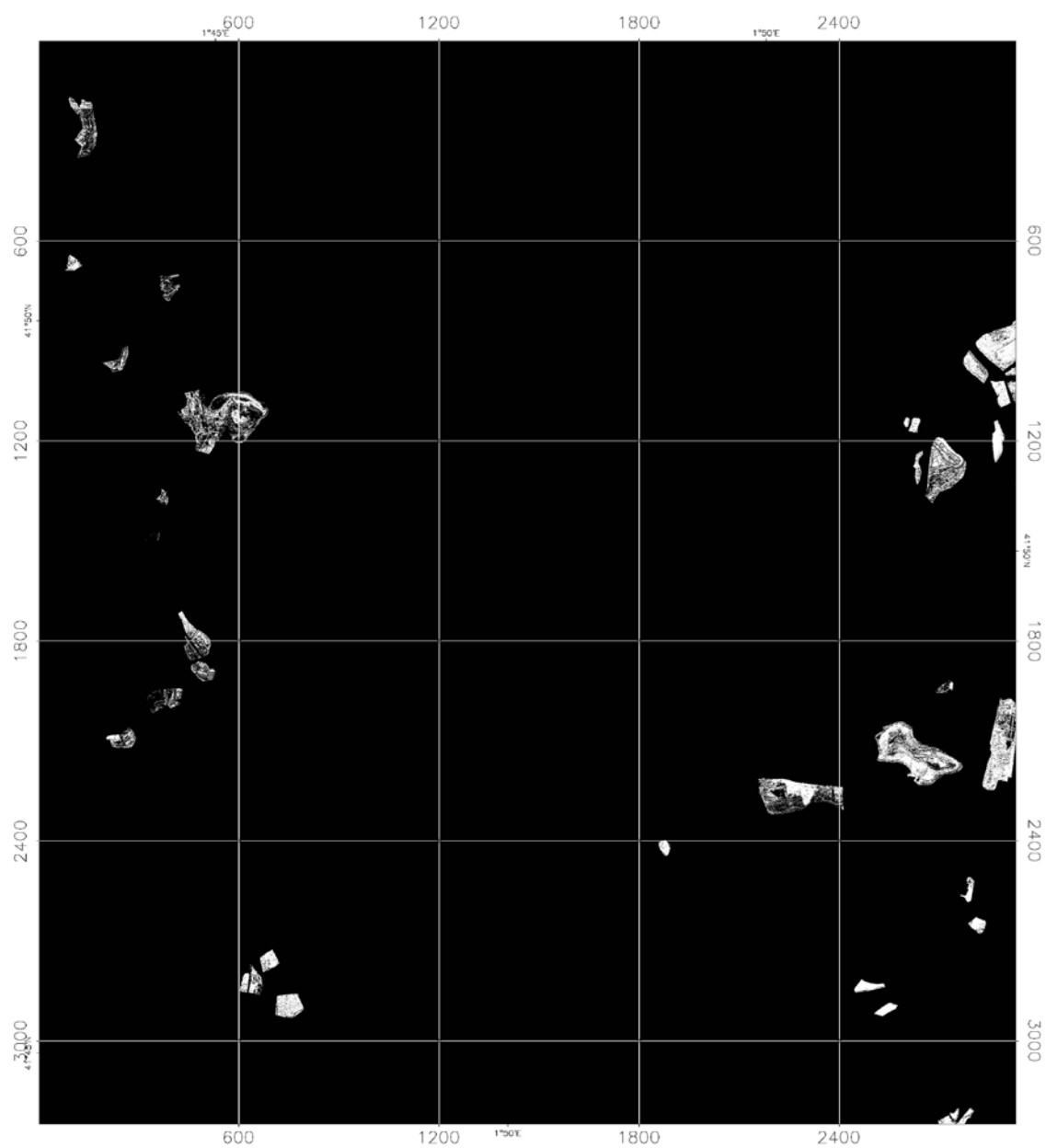
SCS GI. Disponible en: <<http://www.scsgi.com/images/deimos-2-pricing/>>. Última consulta: 5 de octubre de 2016.

10. Anexos

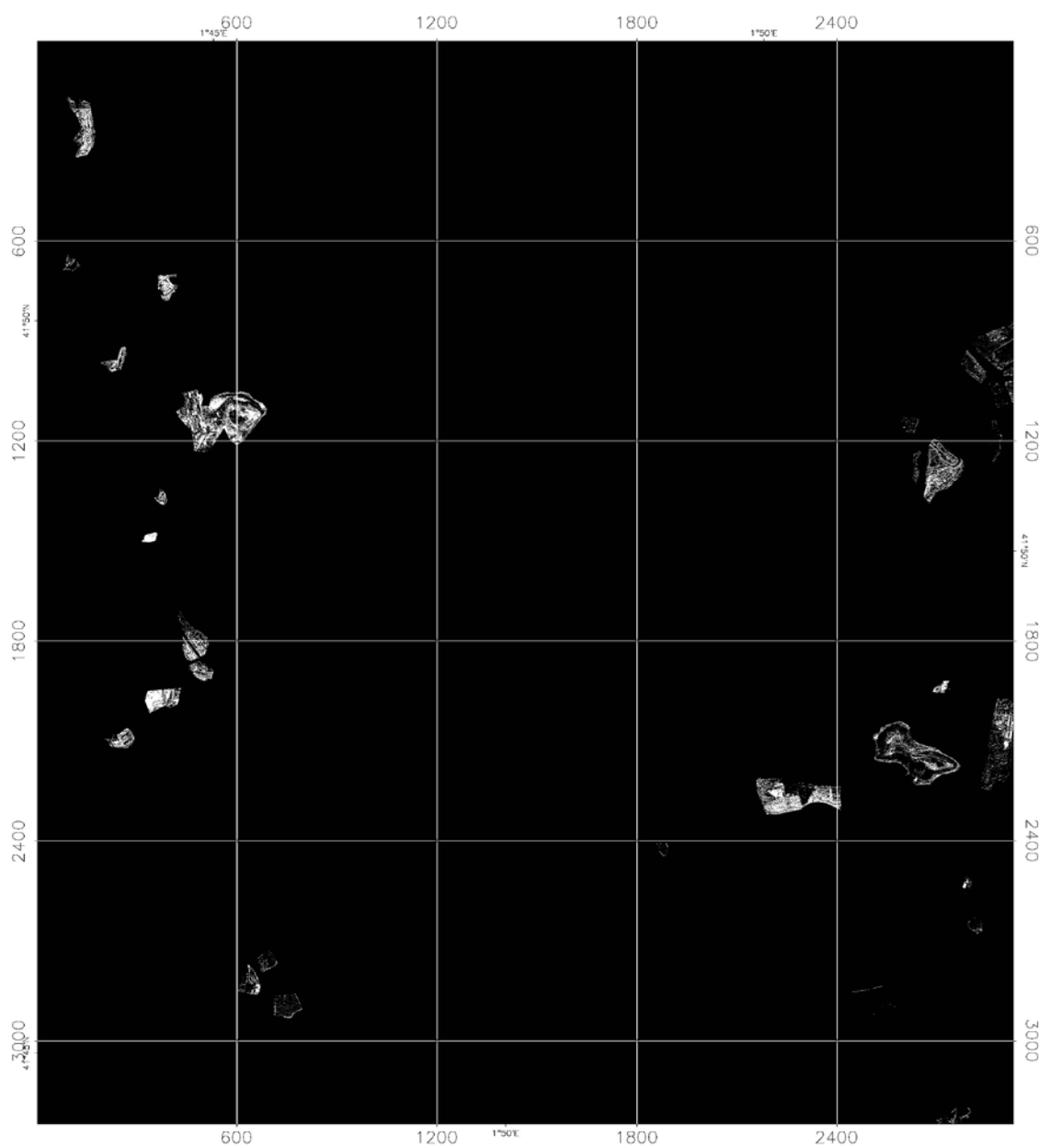
10.1 Cubierta de Sal 1



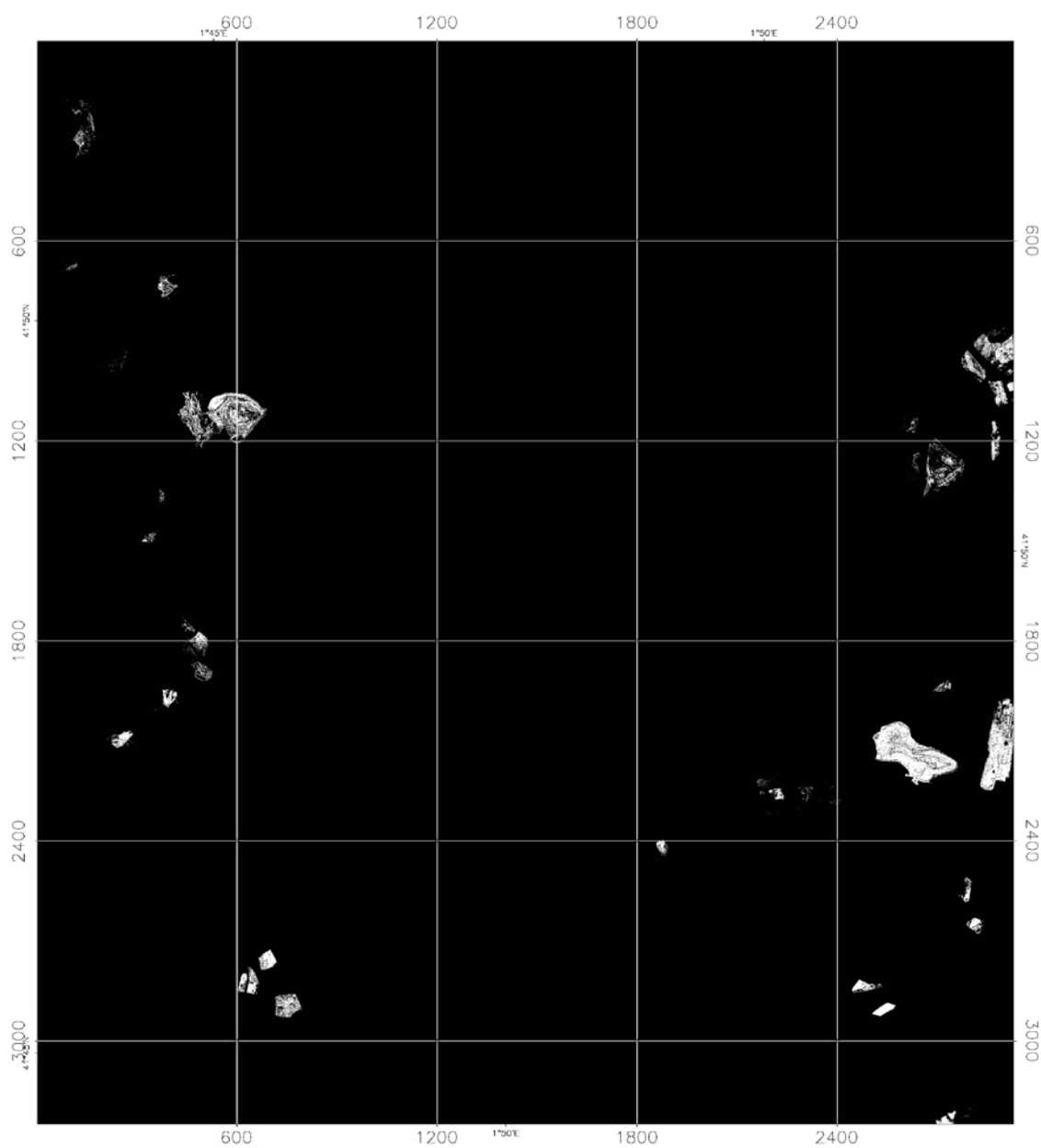
10.2 Cubierta de Sal 2



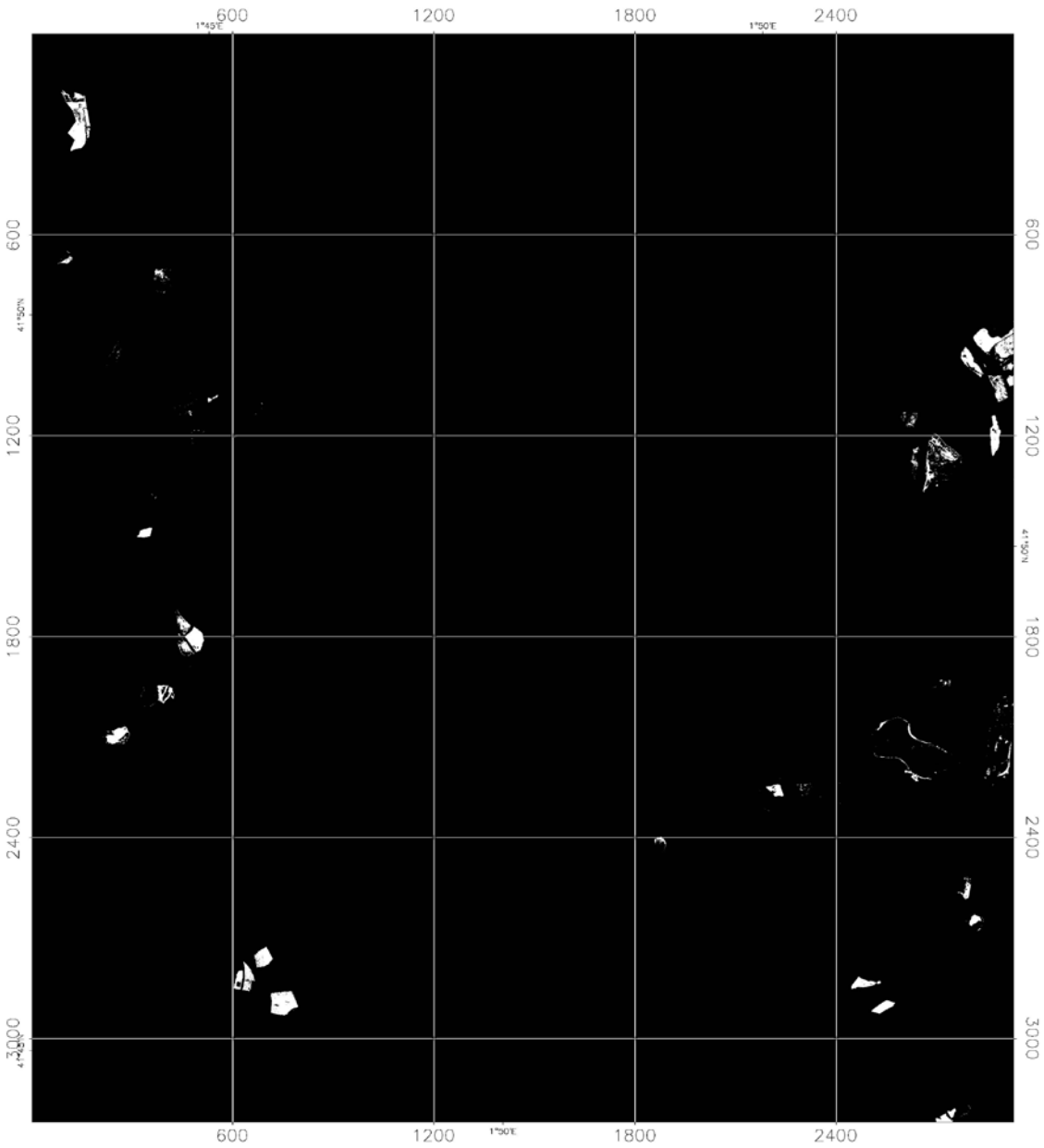
10.3 Cubierta de carreteras y caminos



10.4 Cubierta de Vegetación



10.5 Cubierta de Edificios



10.6 Cubierta de Actividades Extractivas

